Struktury *cone-in-cone* z warstw cieszyńskich łuski Bystrego w Bieszczadach

Paulina Leonowicz*

Łuska Bystrego (ryc. 1A) stanowi fragment bieszczadzkiej części jednostki przeddukielskiej (Książkiewicz, 1972). Najstarszymi utworami wchodzącymi w skład tej łuski, są dolnokredowe utwory fliszowe (ciemnoszare i czarne, silnie wapniste piaskowce oraz wapienie i wapienie margliste przeławicające się z bezwapnistymi lub rzadziej marglistymi łupkami), zaliczane do warstw cieszyńskich serii śląskiej (Ślączka, 1959). W górnej części profilu warstw cieszyńskich, wśród drobnorytmicznych utworów fliszowych, w różnych rejonach łuski Bystrego (ryc. 1B) występują kilkucentymetrowej miąższości warstwy kalcytu ze strukturami stożkowymi typu *cone-in-cone*.

Poglądy na genezę struktur stożkowych

Struktury stożkowe (Chlebowski, 1988), zwane też teksturami stożkowymi (Turnau-Morawska, 1954), tutenmergel (Hausmann, 1812 — *fide* Tarr, 1932) lub marglami tutkowymi (Książkiewicz, 1968) to zespoły stożków o osiach prostopadłych do powierzchni warstw, zbudowanych z agregatów minerałów autogenicznych (Chlebowski, 1988). Jeśli stożki są nasadzone na siebie tak, że tworzą kolumny stożków (Kozydra & Wyrwicki, 1962) mówi się o strukturach typu *cone-in-cone* (Sorby, 1859 — *fide* Tarr, 1932). Stożki są zbudowane najczęściej z włóknistego kalcytu, ale są znane też struktury *cone-in-cone* wykształcone w gipsie (Tarr, 1932), syderycie (Kozydra & Wyrwicki 1962), węglach (Pettijohn, 1957), pirycie (Carsten, 1985), iłowcach i innych skałach osadowych. Struktury stożkowe często występują w obrębie konkrecji lub w osadach z nimi sąsiadujących. Ich wystąpienia mają charakter ciągły lub soczewkowaty i są dość rozpowszechnione w wielu formacjach skalnych.

Pierwsza wzmianka o strukturach *cone-in-cone* pochodzi z 1793 r. kiedy to Ure zamieścił ich ogólnikowy opis (*fide* Tarr, 1932). Od tego czasu opisano wiele wystąpień struktur stożkowych z wielu formacji skał osadowych rozmaitego wieku. Pomijając pierwsze interpretacje, uznające *cone-in-cone* nawet za skamieniałości (Hildreth, 1836, Murchison, 1839 — *fide* Tarr, 1932) lub za rezultat wędrówki gazów w nieskonsolidowanym osadzie (Young, 1892 — *fide* Tarr, 1932), większość badaczy skłonna jest wiązać powstanie takich struktur z oddziaływaniem ciśnienia. Istnieją jednak dwie główne grupy hipotez „ciśnieniowych" — pierwsza z nich interpretuje stożki jako struktury spękaniowe, druga zaś uznaje je za formy krystalizacji.

Hipotezy spękaniowe

Gresley (1894 — *fide* Franks, 1969) wiązał powstawanie *cone-in-cone* ze wzrostem konkrecji kalcytowych. Późniejsi autorzy w różny sposób tłumaczą tworzenie się naprężeń stożkotwórczych.

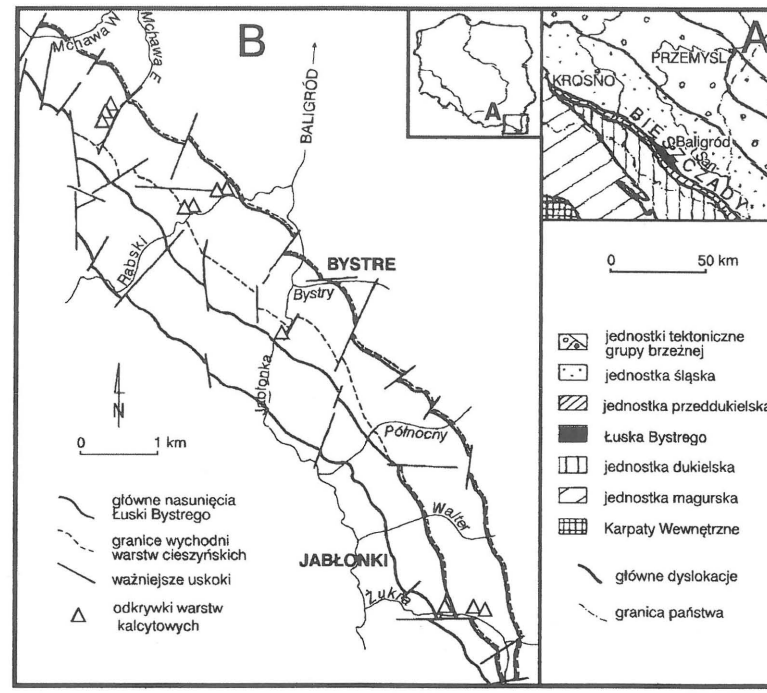
Tarr (1922) wiąże je ze wzrostem objętości, spowodowanym przemianą aragonitu w kalcyt. Tę koncepcję rozwinęli w latach późniejszych Gilman & Metzger (1967), określając wiek procesu na wczesnodiagenetyczny oraz Bonte ze współpracownikami (Bonte & Maillot, 1979; Bonte & Didon, 1983), tłumaczący powstawanie warstw i konkrecji aragonitowych biochemicznymi procesami rozkładu substancji organicznej, prowadzącymi do rozpuszczania i powtórnej krystalizacji $CaCO_3$.

Pettijohn (1957) i Durrance (1965) wiążą pękanie stożkowe z ciśnieniem wywołanym przez rozrastające się w osadzie kryształy kalcytu.

Za epigenetyczną genezą struktur stożkowych opowiada się w swych późniejszych pracach Tarr (1932), uznając pękanie stożkowe za efekt naprężeń, powstałych wskutek oddziaływania ciężaru nadkładu oraz selektywnego rozpuszczania pod ciśnieniem wzdłuż powierzchni łupliwości kalcytu. W latach 1939–1952 badacze francuscy (*fide* Franks, 1969) przedstawili hipotezę, według której struktury *cone-in-cone* są efektem deformacji włókien kalcytu przez tzw. siły trakcyjne, powstające w czasie wzrostu konkrecji lub odkształcania skał otaczających.

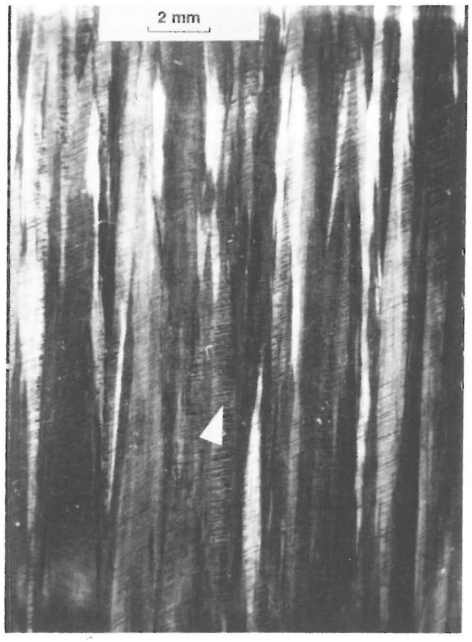
Hipotezy krystalizacyjne

Krytycznego przeglądu wcześniejszych poglądów, do-



Ryc. 1. Szkic lokalizacyjny: A — łuski Bystrego, B — odkrywek warstw kalcytowych (wg Mastelli & Leonowicz)

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa



Ryc. 2. Polisyntetycznie zbliźniaczone, słupkowate kryształy kalcytu. Drobne prążki (strzałka) to płaszczyzny zbliźniaczeń. Zdjęcie w świetle odbitym

tyczących genezy struktur *cone-in-cone*, dokonał Tarr (1932; Sorby, 1859; Cole, 1893; Richardson, 1923). Pierwsza interpretacja tych struktur, należąca do Sorby'ego (1859), uznaje je za efekt radialnej krystalizacji wokół osi. Cole wiąże powstanie powłok ilastych i nagromadzeń iłów pomiędzy stożkami wypieraniem substancji ilastej przez krystalizujący kalcyt. Richardson (1923) za czynnik stożkotwórczy uznaje ciśnienie nadkładu. W efekcie powstałych naprężeń miało dojść do utworzenia się stożkowych powierzchni ścinania, które nie powodują pękania warstwy, lecz ukierunkowują dalszy wzrost włókien kalcytu, stanowiąc nieprzekraczalną dla nich barierę.

Usdowski (1963) tłumaczy powstanie form stożkowych równoczesną krystalizacją kalcytu w postaci równoległych skupień i radialnych półsferolitów. O kształcie stożków decyduje stosunek tempa krystalizacji równoległej i sferolitycznej, co wynika z lokalnego nasycenia wód porowych węglanem wapnia.

Prace prowadzone przez Franksa (1969) wskazują, że za powstawanie struktur *cone-in-cone* są odpowiedzialne siły krystalizacji, związane ze wzrostem pierzastych agregatów kalcytu, powstających podczas wczesnej diagenezy w plastycznym osadzie. Powłoki ilaste, otaczające agregaty kalcytu są reziduum zepchniętym przez kalcyt w czasie krystalizacji. W ten sam sposób tłumaczy się powstanie koncentrycznych depresji na powierzchniach stożkowych.

Analizowane warstwy kalcytowe

Warstewki kalcytowe ze strukturami *cone-in-cone* mają miąższości 0,4–4 cm. Są to poziomy soczewek o rozciągłości od kilkunastu centymetrów do kilku metrów, tworzące zwykle zestawy po kilka lub kilkanaście na odcinku kilkunastu metrów profilu.

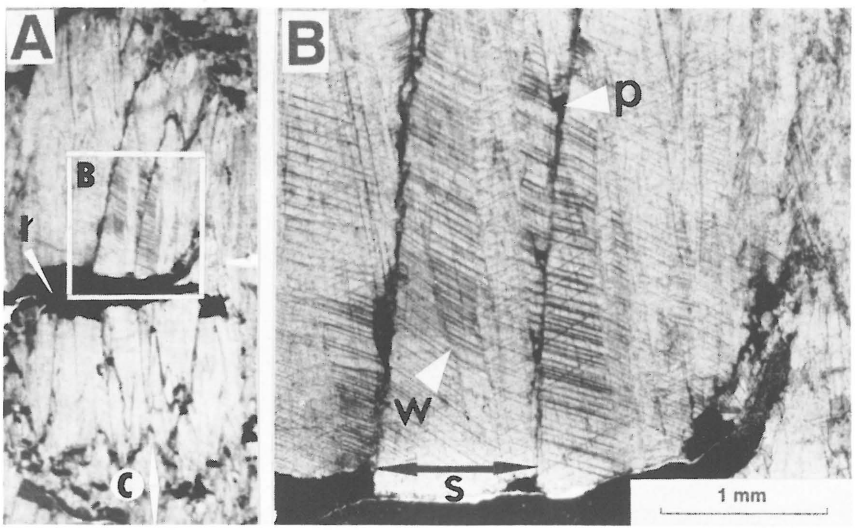
Kalcyt ma barwę od jasnoszarej do ciemnoszarej, prawie czarnej, z odcieniem brunatnym lub rdzawym. Zabarwienie to ma postać ciemniejszych i jaśniejszych smug i często zmienia się w obrębie jednej warstwy od jasnoszarej w spągu do ciemnoszarej i czarnej w stropie. Obserwowany w płytkach cienkich kalcyt jest bezbarwny i przezroczysty.

Kalcyt jest wykształcony w postaci palisadowo ułożonych polikryształów (ryc. 2) o rozmiarach od ułamków milimetra do kilku centymetrów. Sieć zbliźniaczeń jest wykształcona nierównomiernie. Pierwotnie kalcyt miał prawdopodobnie strukturę włóknistą. W obrazie mikroskopowym można niekiedy obserwować ślady po granicach włókien, zwłaszcza gdy podkreśla je substancja ilasta. Na ogół jednak granice te są niewyraźne (ryc. 3 B).

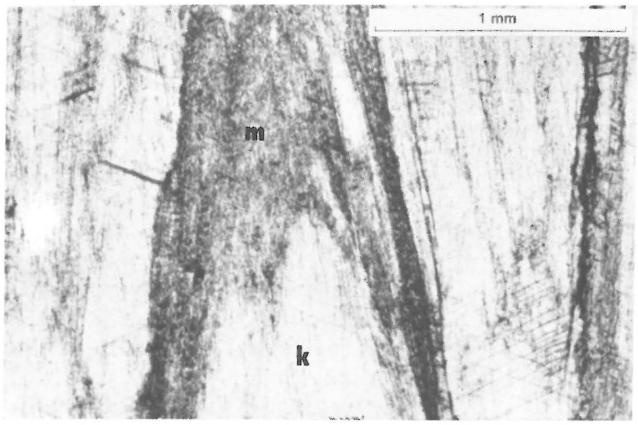
Miejscami, w obrębie przejrzystego kalcytu, występują partie zbudowane z brunatnego mikrytu, zawierające domieszkę substancji organicznej i ilastej (ryc. 4). Mikryt przechodzi stopniowo w krystaliczny $CaCO_3$. W kalcycie spotyka się liczne, uwięzione strzępy wapienia pelitowego, substancji organicznej oraz ziarna pirytu (ryc. 5). Kalcyt jest wewnętrznie laminowany (ryc. 6). Laminacja ta jest współkształtna do ścian stożków, a w strefach pozbawionych struktur *cone-in-cone* — równoległa do warstwowania.

W stropie kalcyt jest zrośnięty z częściowo zrekrystalizowanym wapieniem, zawierającym domieszki kwarcu, substancji ilastej, materiału organicznego pochodzenia roślinnego oraz wprysnięcia pirytu.

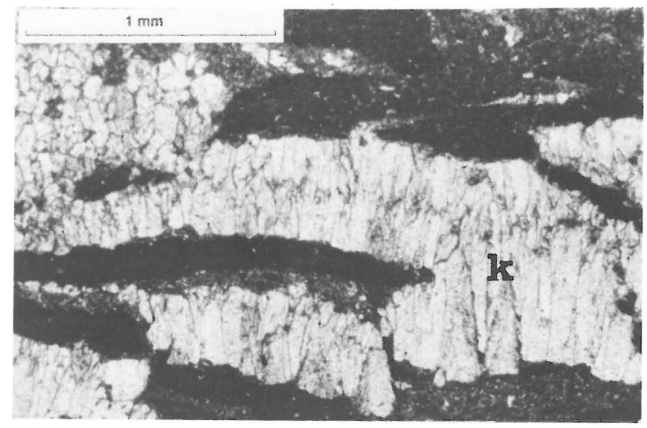
Przejście od kalcytu do wapienia następuje stopniowo poprzez strefę (ok. 1 cm miąższości), złożoną z partii kalcytowych i pelitowych o słabo wyrażonym, ale czytelnym „ukierunkowa-



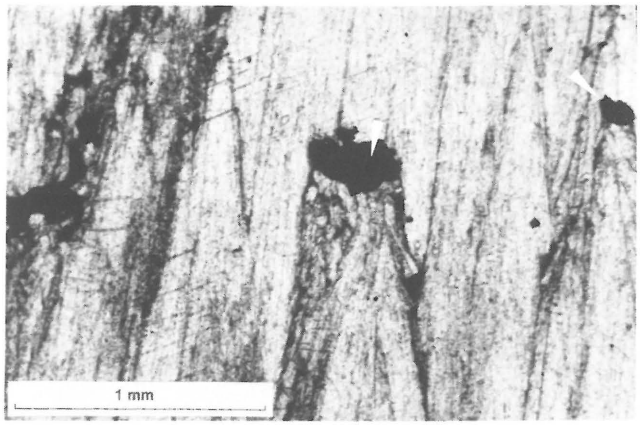
Ryc. 3. A — warstwa kalcytowa przedzielona w środku łupkami ilastymi (ł). Wierzchołki stożków skierowane w dół i w górę od łupków ku wapieniom. Widoczny fragment strefy przejściowej (c). B — Włókna kalcytowe (w) budujące powłokę stożka (s) i ograniczające trójkątne przestrzenie (p)



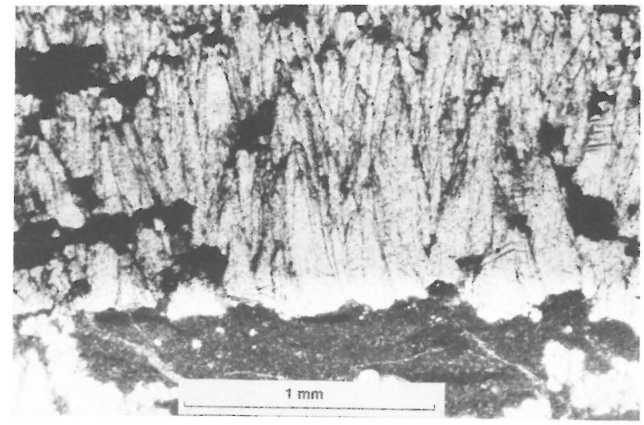
Ryc. 4. Fragment stożka zbudowany z mikrytu. Widoczne stopniowe przejście mikrytu (m) w kalcyt (k)



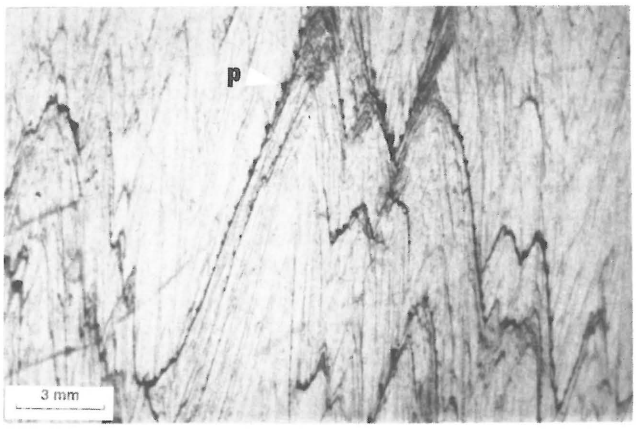
Ryc. 7. Fragment strefy przejściowej. Warstewki kalcytowe (k) zbudowane z jednego (na dole) i dwóch (na górze) szeregów kryształów. Oddzielają je partie zbudowane z pelitu. Widoczne w nich ciemniejsze smugi są poprzecinane przez warstewki kalcytowe



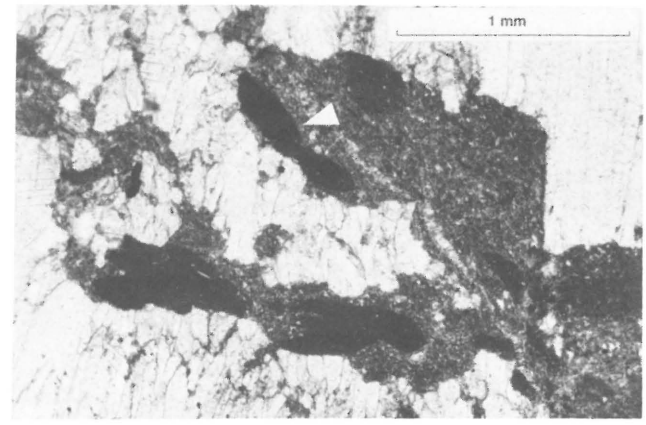
Ryc. 5. Ziarna pirytu (strzałka) uwięzione w wierzchołkach stożków



Ryc. 8. Zaczątki stożków ze strefy przejściowej



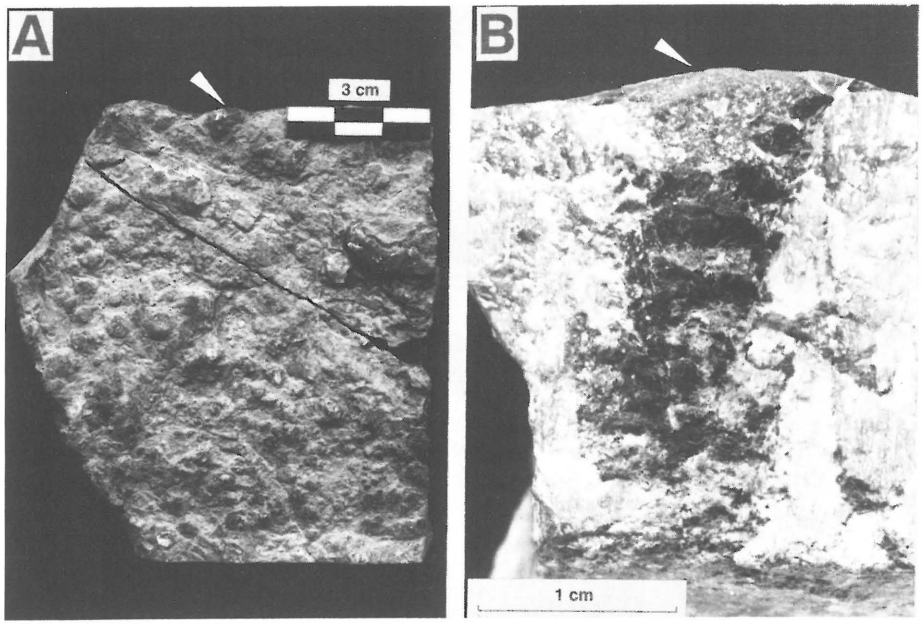
Ryc. 6. Laminacja stożkowa w kalcycie. Stożki nasadzone kolejno na siebie. Na ich powierzchniach widoczne charakterystyczne trójkątne przestrzenie (p)



Ryc. 9. Fragment strefy przejściowej. Ciemne smugi w materiale pelitowym (strzałka) wygięte zgodnie z przebiegiem warstewek kalcytu

niu" poziomym. Strzępy materiału pelitowego są przedzielone warstwami zbudowanymi z jednego lub dwóch szeregów drobnych, wydłużonych kryształów kalcytu (ryc. 7). Kryształy te są do siebie równoległe i zorientowane prostopadle do powierzchni warstwy. W przypadku występowania dwóch szeregów narastają ku sobie z przeciwnych kierunków, a strefa spotkania przeciwnie skierowanych kryształów jest zaznaczona przez wypełniający ją materiał pelitowy. Miejscami kryształy układają się w formy podobne do stożków, mające czasem po kilka powłok (ryc. 8). Wraz z oddalaniem się od właściwej warstwy kalcytowej kryształy maleją i stają się bardziej izometryczne, zbliżone w kształcie do ziarn budujących wapienie.

Strzępy wapienia pelitowego, zawierające też drobny detrytus roślinny i mikryt węglanowy, są wewnętrznie lami-



Ryc. 10. A — Powierzchnia spągowa warstwy kalcytowej. Widoczne guzki (strzałka) odpowiadają podstawom stożków. B — Odpreparowany fragment powierzchni bocznej kolumny stożków z widocznym prążkowaniem (ciemne i jasne smugi). Wypukła podstawa stożka (strzałka) tworzy guzek na spągowej powierzchni warstwy

nowane. Laminacja ta jest często zaburzona przez warstewki kalcytu, które ją przecinają lub powodują wyginanie zgodne z ich przebiegiem (ryc. 9). Jest to prawdopodobnie efekt rozpychania plastycznego osadu przez krystalizujący kalcyt.

W kilku przypadkach granica kalcyt–wapień jest ostra. Powierzchnia kontaktu jest nierówna, urzeźbiona w nieregularne garby, grzebienie i zagłębienia.

W spągu warstwy kalcytowe kontaktują zwykle z jasno- i ciemnoszarymi łupkami. Granica między kalcytem i łupkami jest zawsze ostra i wyraźna. Łupki łatwo dają się oddzielać od kalcytu, ukazując powierzchnie płaskie, urzeźbione w liczne drobne pagórki, guzki i zagłębienia, odpowiadające podstawom stożków (ryc. 10A). Na powierzchni spągowej jest widoczna czasem sieć cieniutkich, żyłkopodobnych struktur, powstałych przez wypreparowanie powłok stożków na przekrojach prostopadłych do ich osi.

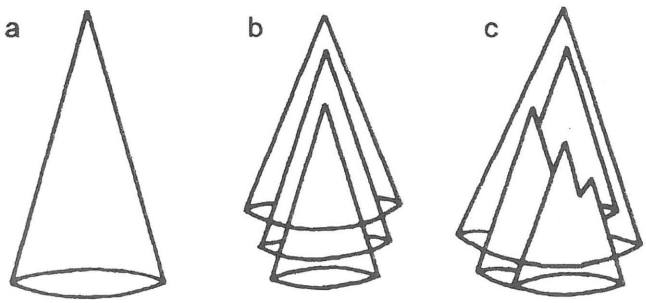
Charakterystyka struktur *cone-in-cone*

Struktury *cone-in-cone* składają się z szeregu włożonych w siebie stożków o rozmiarach od 1 mm do 3,5 cm wysokości, średnicy podstawy od 0,5 mm do 1,5 cm i kącie wierzchołkowym od 10 do 40° (max. do 50°). Wierzchołki stożków skierowane są ku granicy z wapieniami bez względu na to, czy znajduje się ona w stropie czy w spągu warstwy kalcytowej; jeśli kalcyt jest w środku przedzielony cienką warstewką ilastą, wierzchołki stożków są skierowane w dół (pod iłem) i w górę (nad iłem) (ryc. 3A). W stropie warstwy pojawia się czasami wąska strefa stożków zorientowanych przeciwnie (ale wykształconych dużo słabiej) lub warstewka drobnych, równoległych do siebie kryształów kalcytu.

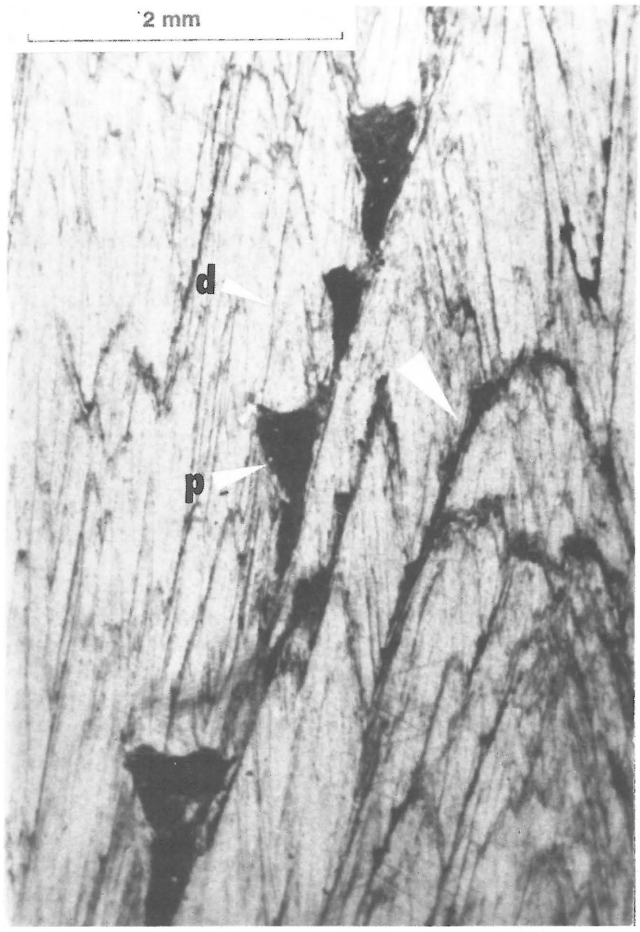
Morfologicznie można wyróżnić 3 kategorie struktur stożkowych (ryc. 11): stożki pojedyńcze, stożki nasadzone kolejno na siebie (ryc. 6), oraz struktury bardziej złożone, w których w większym stożku rozwiniętych jest kilka mniejszych, równorzędnych, rosnących obok siebie (ryc. 12). Powłoki stożków, zbudowane z równoległych do siebie włókien kalcytu, dają w przekrojach (z wyjątkiem przekrojów w przybliżeniu prostopadłych do osi stożków) efekt laminacji, nazwanej tu laminacją stożkową. Struktury *cone-in-cone* zajmują zwykle przestrzeń całej warstwy, tylko w niektórych próbkach są wykształcone w postaci pojedyńczych skupień. Kolumny stożków rzadko zajmują przestrzeń od spągu do stropu warstwy. Najczęściej poszczególne zespoły narastają na sobie w sposób nieregularny. Na wypreparowanych powierzchniach kolumn stożków zaznacza się delikatne prążkowanie w postaci koncentrycznych schodków (ryc. 10B).

Laminacja stożkowa jest wykształcona niezależnie od polikryształów kalcytu; granice kryształów i stożków często pokrywają się, są jednak przypadki przecinania się tych granic. Niekiedy w obrębie jednego kryształu obserwuje się laminację należącą do kilku stożków. W próbkach bogatych w materiał pelitowy, gromadzący się w postaci ciągłych powłok (ryc. 12) lub równoległych smug (ryc.13), laminacja i granice stożków są dobrze widoczne. Dużo słabiej widać je, gdy kalcyt pozbawiony jest domieszek ilastych lub gdy nakłada się na nie gęsta sieć zbliźniaczeń kalcytu. Również w przypadku stożków w całości lub po części mikrytowych ich wewnętrzna struktura jest nieczytelna.

W trójkątnych przestrzeniach, rozmieszczonych wzdłuż powierzchni stożkowych (ryc. 12), podobnie jak w wierzchołkach stożków, gromadzi się w większych ilościach materiał pelitowy. Przestrzenie te odpowiadają w przekroju prążkowaniu widocznemu na powierzchniach wypreparowanych stożków. Spotykano tu również większe fragmenty organiczne, ziarna pirytu oraz mikryt. Granice trójkątnych przestrzeni określone są przez włókna kalcytu, należące do jednego lub różnych stożków (ryc. 14). Kształty ich nie zawsze są regularne w związku z różną długością włókien, które czasem rozrastają się także w obrębie materiału pelitowego (ryc. 15).



Ryc. 11. Typy struktur stożkowych: a) pojedyńczy stożek, b) kolumna stożków, c) struktura złożona (w większym stożku rozwiniętych kilka mniejszych, równorzędnych)



Ryc. 12. Złożona struktura *cone-in-cone* (strzałka). Na powierzchniach stożków widoczne trójkątne przestrzenie (p) wypełnione materiałem pelitowym, powstałe przez narastanie na dużym stożku stożków drugorzędnych (d)

Spękania i stylolity a struktury *cone-in-cone*

Oprócz struktur stożkowych w obrazach mikroskopowych obserwowano także powierzchnie spękań i stylolitów. Są to zwykle powierzchnie nierówne, podkreślone warstwą brunatnej substancji ilastej. W przypadku szerzej rozwartych spękań widać, że smużki w wypełniającym je materiale pelitowym są ułożone równolegle do ścian spękań. Często tkwią tu większe ziarna pirytu oraz pokruszone fragmenty kalcytu z widoczną laminacją stożkową, skręconą o pewien kąt w stosunku do tej, widzianej w ścianach szczeliny (ryc. 16).

Niektóre powierzchnie z rozpuszczania są zgodne ze ścianami stożków lub nieznacznie ścinają stożkową laminację, wyraźnie jednak różnią się od powierzchni ograniczających stożki.

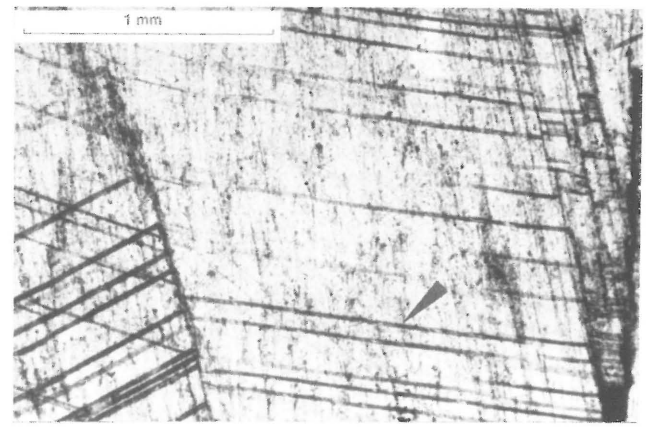
Uwagi o genezie struktur *cone-in-cone*

Warstwy kalcytowe z wapieni cieszyńskich łuski Bystrego formowały się niewątpliwie podczas wczesnej diagenezy, w plastycznym osadzie. Świadczą o tym wygięcia poziomej laminacji w wapieniach wokół stref zbudowanych z kalcytu, który krystalizując rozpychał i deformował otaczające go utwory (ryc. 9).

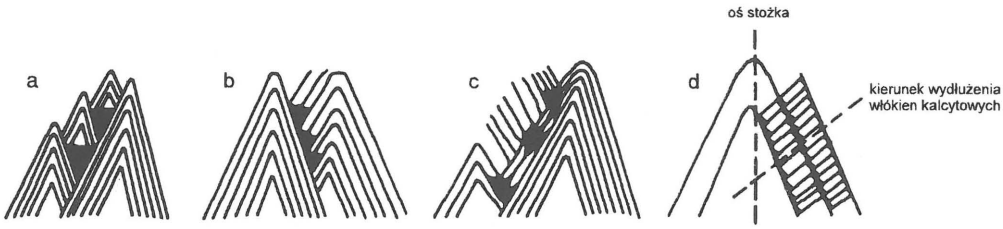
Wydaje się, że opisywane struktury stożkowe są raczej efektem ukierunkowanej krystalizacji, niż pękania i że ich formowanie było równoczesne z powstawaniem warstw kalcytowych. Świadczą o tym zaczątki stożków obserwowane niekiedy w strefie przejściowej między kalcytem a wapieniem. Za krystalizacyjną genezą stożków przemawia ich pierwotna, włóknista struktura. To włókna kalcytowe (o takich samych rozmiarach i jednakowej orientacji w stosunku do osi stożka) określają położenie powierzchni stożka (ryc. 14d). Włókna kalcytowe ograniczają też trójkątne przestrzenie wypełnione materiałem pelitowym. Kształt tych przestrzeni zależy od kierunku narastania włókien oraz tempa ich wzrostu. Widoczne są przypadki, gdzie tylko kawałek powłoki stożka jest wykształcony w całości, pozostała zaś część urosła fragmentarycznie, „wyprzedzona" przez powłoki sąsiednich stożków (ryc. 15). Materiał pelitowy to prawdopodobnie reziduum po osadzie, w którym rozrastał się kalcyt i który w trakcie krystalizacji był spychany na zewnątrz stożków, według mechanizmu opisanego przez Franksa (1969).

Przyjęcie hipotezy „spękaniowej" dla wyjaśnienia genezy opisywanych struktur byłoby trudne. Hipoteza ta zakłada wcześniejsze powstanie warstwy, która podlegała pękaniu wzdłuż powierzchni stożkowych albo dając system spękań, na którym rozwinęły się struktury *cone-in-cone*. Nieregularność kształtów stożków, wzajemne dowolne narastanie na sobie oraz stopniowe przechodzenie stożków mikrytowych w kalcytowe przeczą możliwości ich powstania dzięki pękaniu. W takim przypadku powinna istnieć prawidłowość w rozwoju kierunków spękań i kolejności ich powstawania, a granice stożków powinny być wyraźne.

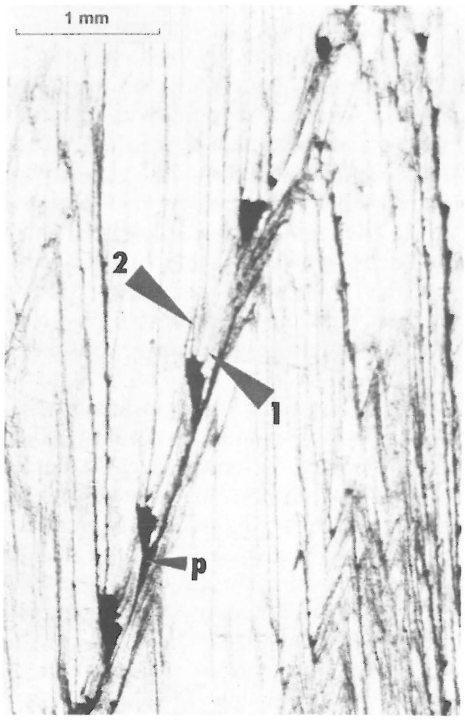
Ukierunkowana krystalizacja nie jest jednak mechanizmem, który jednoznacznie wyjaśnia genezę struktur *cone-in-cone* we wszystkich typach osadów. Nie tłumaczy bowiem jak formują się stożki w materiale pelitowym (jakim jest na przykład mikryt). Opierając się na powyższych spostrzeżeniach i wcześniej zreferowanych poglądach na temat genezy struktur *cone-in-cone* za główny czynnik stożkotwórczy, w każdym typie utworów, należy uznać ciśnienie. Prawdopodobnie jest ono związane z formowaniem się wczesnodiagenetycznych konkrecji, za czym przemawia fakt występowania struktur stożkowych



Ryc. 13. Laminacja stożkowa wykształcona w postaci równoległych smug. Widoczne powierzchnie zbliźniaczeń kalcytu (czarna strzałka)



Ryc. 14. Typy ograniczenia trójkątnych przestrzeni przez: a) powierzchnię stożka głównego i stożki drugorzędne, b) powierzchnię stożka głównego i poszczególne powłoki stożka drugorzędnego, c) włókna budujące powłoki dwóch różnych stożków, d) włókna budujące powłoki jednego stożka. Zaznaczona orientacja włókien w stosunku do osi stożka



Ryc. 15. Trójkątne przestrzenie ograniczone przez włókna należące do dwóch różnych stożków (1, 2). Zewnętrzna powłoka stożka 1, wykształcona fragmentarycznie, podzielona jest na odcinki przez trójkątne przestrzenie (p)

Ryc. 16. Spękanie (s) wypełnione przez pelit, a w nim okruchy kalcytu z widoczną laminacją stożkową (l) oraz płaszczyznami zbliźniaczeń (b)

w obrębie takich konkrecji lub w ich sąsiedztwie. Ciśnienie to uruchamia procesy (odmienne w różnych typach osadów), prowadzące do powstania struktur *cone-in-cone*. Jednym z nich jest ukierunkowana krystalizacja.

W przypadku opisywanych struktur *cone-in-cone* prawdopodobnie w etapie wczesnej diagenezy osadu (budującego dziś wapienie cieszyńskie) następowało rozpuszczanie węglanu wapnia w strefach temu sprzyjających i powtórna jego krystalizacja, początkowo w postaci cienkich soczewek włóknistego kalcytu. Rozpuszczanie mogło być spowodowane procesami bakteryjnego rozkładu substancji organicznej (cf. Bonte & Didon 1983), obficie występującej w utworach cieszyńskich. Ciśnienie powodowało ukierunkowanie krystalizacji i formowanie się stożków. Kryształy kalcytu narastały od stropu i spągu warstwy z dwóch przeciwnych kierunków, a utworzone stożki skierowane były wierzchołkami ku sobie. W czasie krystalizacji nierozpuszczalna substancja ilasta spychana była na zewnątrz lub ulegała uwięzieniu w postaci smug (tkwiących dziś w kalcycie) i wypełnień schodkowatych depresji (cf. Franks 1969). Pozostałością po tym etapie porządkowania osadu, miejscami nie doprowadzonym do końca, są strefy przejściowe między kalcytem a wapieniem.

W późniejszym czasie włóknisty kalcyt uległ rekrystalizacji, w wyniku czego powstały słupkowate, polisyntetycznie zbliźniaczone kryształy tworzące warstwy kalcytowe.

Autorka dziękuje Panu doc. dr hab. L. Mastelli za okazaną pomoc w trakcie badań terenowych i Panu dr hab. T. Mercie za cenne uwagi merytoryczne.

Literatura

BONTE A. & MAILLOT H. 1979 — Ann. Soc. Geol. Nord., 99: 465–476

BONTE A. & DIDON J. 1983 — Extrait des Ann. Soc. Geol. Nord., CIII, Seance du 2 Mars 1983: 413.

CARSTEN H. 1985 — J. Sedim. Petrol., 55: 105–108.

CHLEBOWSKI R. 1988 — Petrografia skał osadowych. Wyd. UW.

DURRANCEE. M. 1965 — Geologist' Assoc. Proc., 76: 83–90.

FRANKS P.C. 1969 — J. Sedim. Petrol., 39: 1438–1454.

GILMAN R.A. & METZGER W.H. 1967 — Ibidem, 37: 87–95.

KOZYDRA Z. & WYRWICKI R. 1962 — Biul. Inst. Geol., 174: 223–238.

KSIĄŻKIEWICZ M. 1968 — Geologia dynamiczna, wyd. III, Wyd. Geol.

KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa geologiczna Polski. Tom IV. Tektonika, cz. 3, Karpaty. Wyd. Geol.

PETTIJOHN F.J. 1957 — Sedimentary Rocks, II ed. New York.

ŚLĄCZKA A. 1959 — Biul. Inst. Geol., 131: 201–250.

TARR W.A. 1922 — Am. J. Sci. 5th Series, 4: 199–213.

TARR W.A. 1932 — [In:] Treatise on Sedimentation, by Twenhofel W.H.,+ 2: 716–733.

TURNAU-MORAWSKA M. 1954 — Petrografia skał osadowych. Warszawa.

USDOWSKI H.E. 1963 — Beitr. Miner. Petrogr., 9: 95–110.