



**dr hab.
Anna Waśkowska,
prof. AGH**

Jest wykładowcą
na Wydziale Geologii,
Geofizyki i Ochrony
Środowiska Akademii
Górnictwo-Hutniczej
w Krakowie.

Prowadzi badania
mikropaleontologiczne
i litostratygraficzne.

Specjalizuje się
w analizach taksonomii,
ewolucji, ekologii
i biostratygrafii
kopalnych otwornic.

Prowadzi Fundację
Mikropaleontologiczną
Micropress Europe, która
upowszechnia wiedzę
o otwornicach.

waskowsk@agh.edu.pl



**dr Justyna
Kowal-Kasprzyk**

Pracuje na stanowisku
adiunkta na Wydziale
Geologii, Geofizyki
i Ochrony Środowiska
Akademii Górniczo-
Hutniczej w Krakowie.
Zajmuje się badaniami
mikropaleontologicznymi,
stratygraficznymi
i rekonstrukcjami
paleośrodowisk,
w szczególności późnej
jury i wczesnej kredy.

kowalj@agh.edu.pl

PORTRET OTWORNIC

Otwornice – mikroorganizmy o ogromnym znaczeniu
zarówno w przeszłości, jak i współcześnie.

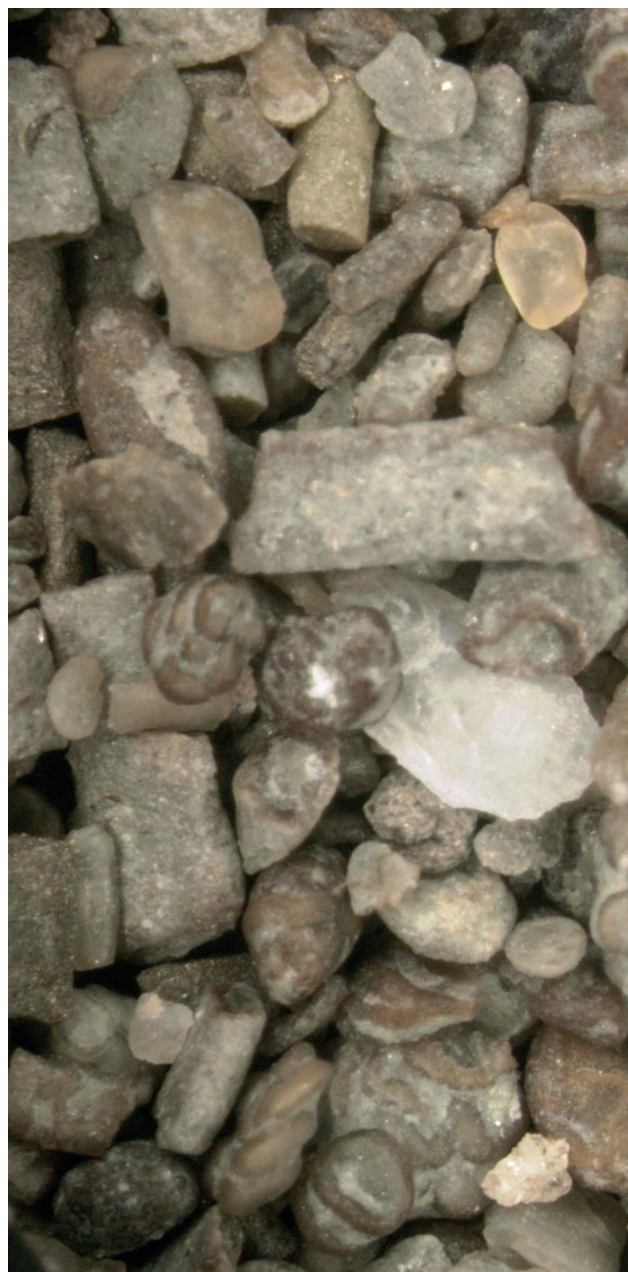
**Anna Waśkowska
Justyna Kowal-Kasprzyk**

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Otwornice to organizmy jednokomórkowe, będące ważnym składnikiem współczesnych ekosystemów morskich. Znane są również z zapisu kopalnego. Występowały także w Basenie Karpackim, stanowiącym część Paleooceanu Tetydy. Wskutek ruchów górotwórczych, osady Basenu Karpackiego uformowały dzisiejsze Karpaty. W skałach karpackich otwornice stanowią podstawowe i pospolite skamieniałości. Zasiedlały one zbiornik podczas wszystkich stadiów jego rozwoju, więc występują we wszystkich interwałach stratygraficznych.

Otwornice jako nieliczne jednokomórkowce powszechnie zachowują się w formie skamieniałości. Wynika to z ich zdolności do budowania skorupki mineralnych – wapiennych lub aglutynowanych. To znacząco zwiększa ich szanse na fosylizację, czyli zachowanie w stanie kopalnym. Skorupki nie ulegają szybkiemu rozkładowi i są odporne na działanie czynników erozyjnych.

Otwornice aglutynujące należą do najpowszechniejszych skamieniałości występujących w skałach Basenu Karpackiego. Były to organizmy bentoniczne, czyli żyjące w strefie dennej zbiorników morskich lub oceanicznych, na miękkich dnach, pokrytych mułem lub drobnym piaskiem. Część z nich była mobilna i aktywnie przemieszczała się po powierzchni dna lub wewnątrz osadu. Inne prowadziły stacjonarny tryb życia, zasiedlając jedno miejsce. Były też takie, które na stałe przytwierdzały się do twardych elementów, skał lub muszli innych organizmów. Cechą charakterystyczną otwornic aglutynujących jest wytwarzanie skorupki



aglutynowanych, czyli budowanych z drobin materiału pobranego z najbliższego otoczenia. Ziarna te są sklepane substancją organiczną, produkowaną przez organizm. W warunkach Basenu Karpackiego aglutynowaniu podlegały głównie ziarna kwarcu. W głębokowodnym mule i piasku był to najpowszechniejszy, łatwo dostępny, dobry jakościowo i stabilny materiał. Dlatego znacząca większość karpackich otwornic aglutynujących posiada skorupki krzemionkowe, które są zbudowane z ziaren kwarcu mocno scementowanych krzemionką. Spoiwo krzemionkowe ma pochodzenie diagenetyczne. Zostało ono wykształcone wtórnie, podczas procesu fosylizacji, przez zastąpienie oryginalnego lepiska organicznego krzemionką. W niektórych skorupkach znajdują się też inne ziarna

mineralne jako składniki akcesoryczne. Są to zwykle turmaliny, rzadziej spotykane są skalenie, muskowit, cyrkon, apatyt, glaukonit. Do budowy skorupki niekiedy były też wykorzystywane inne organizmy, takie jak: igły gąbek, otwornice planktoniczne, okrzemki, radiolarie czy nanoplankton wapienny.

Oznaczanie gatunków

Gatunki kopalne otwornic aglutynujących są rozpoznawane na podstawie cech morfologicznych skorupki. Do podstawowej identyfikacji materiału kopalnego jest więc używany obraz. Identyfikacja taksonomiczna kopalnych otwornic aglutynujących wymaga zapoznania się z budową zewnętrzną, wewnętrzną



Otwornice głębokowodne Karpat – obraz próbki mikropaleontologicznej spod lupy binokularnej

ANNA WĄSKOWSKA

Bulbobaculites gorlicensis
– jedna z ostatnio opisanych
otwornic aglutynujących
z Basenu Karpackiego.
Obraz spod lupy
binokularnej



ANNA WAŚKOWSKA

i strukturą skorupki. Systematyka form kopalnych jest więc sztuczna w przeciwieństwie do współczesnych otwornic, gdzie kompleksowe obserwacje organizmu są uzupełniane przez analizy materiału genetycznego.

Skorupki otwornic aglutynujących są różnorodne, co wynika z przystosowywania się tych organizmów do odmiennych środowisk. Podstawową „jednostką” budowy skorupki jest komora. Jest to przestrzeń zamknięta ścianą, która posiada jeden (lub więcej) główny otwór zwany ujściem. Prymitywne otwornice budują nieskomplikowane skorupki jednokomorowe lub dwukomorowe (pierwsza komora inicjalna to *proloculus*), które mają kształty workowate lub rurkowa-

te. Te ostatnie są proste, rozgałęzione lub zwinięte. Jednak zdecydowana większość gatunków bytujących w Basenach Karpackich tworzyła skorupki wielokomorowe, które konstrukcyjnie są szeregowym połączeniem elementów jednostkowych. Komory mają różne kształty: od rurkowatych, okrągłych, przez prostokątno-kwadratowe, do trójkątnych. Liczba kształtów skorupki otwornic aglutynujących jest bardzo duża. Wynika ona z konfiguracji, w której mogą przyrastać kolejne komory, co pozwala na tworzenie różnych układów geometrycznych, jednokierunkowych lub zwiniętych, zamykających się w obrębie jednej lub kilku płaszczyzn. Wielkość komór w jednym okazie jest zróżnicowana, zwykle jest obserwowany przyrost ich wielkości w trakcie rozwoju skorupki, a więc rozmiary najmłodszych komór są największe.

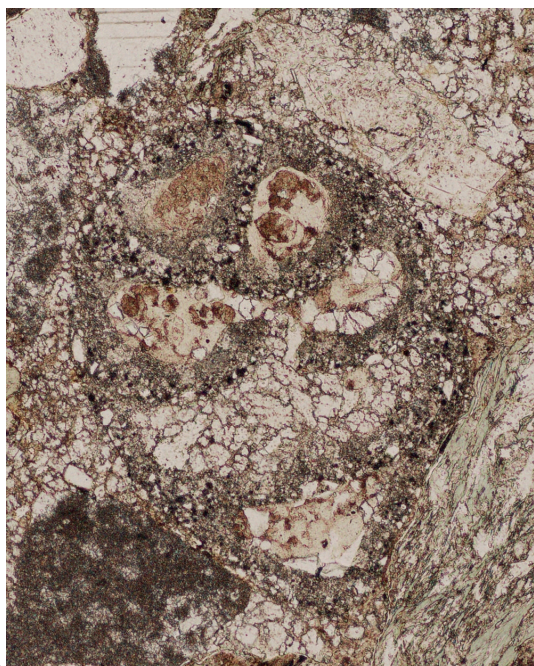
Do aglutynacji są wykorzystywane różnej wielkości ziarna, od bardzo drobnych do ziaren o rozmiarach około 100 μm . Wielkość wykorzystanego materiału mineralnego wpływa istotnie na wygląd zewnętrzny skorupki. Większość karpaccich gatunków otwornic wykazuje preferencję do selekcjonowania materiału, czyli określone gatunki aglutynują ziarna z danych zakresów wielkości. Są formy, które preferują wykorzystanie grubego lub drobnego materiału, i takie, które używają do budowy skorupki ziaren różnych rozmiarowo. W zależności od gatunku skorupki aglutynowane z grubego ziarna mają chropowate lub gładkie powierzchnie zewnętrzne. Od strony wewnętrznej zwykle są wygładzone i wykończone płaskimi powierzchniami grubych ziaren. Pozornie może się wydawać, iż układ ziaren w skorupie jest chaotyczny, jednak architektura skorupy to zespół elementów mineralnych o odpowiednio dobranym rozmiarze, kształcie i konfiguracji. Skutkuje to powstaniem zwartej, nieporowatej ściany, skomponowanej ze ściśle przylegających do siebie elementów. Wiele form gruboziarnistych buduje skorupkę dwuwarstwową, w której zewnętrzna warstwa grubych ziaren jest podścielona od wewnątrz drobnym materiałem. Skorupki drobnoziarniste zwykle są cienkościenne i mają powierzchnie wyrównane.

Obraz mikroskopowy

Oznaczenia taksonomiczne otwornic są oparte na analizie obrazu mikroskopowego. Uzbrojenie oka w aparaturę powiększającą jest konieczne, gdyż większość skorupki otwornic karpaccich jest mniejsza niż 0,4 mm. Mikropaleontolodzy preferują trójwymiarowy wizerunek okazów, który najczęściej uzyskuje się przy wykorzystaniu lupy binokularnej lub mikroskopu skaningowego.

Obraz binokularny daje najbardziej autentyczny i bezpośredni przekaz. Zachowuje nie tylko cechy morfologiczne, lecz także oryginalną kolorystykę skorupki otwornic. Ze względu na stosunkowo niewielkie powiększenia w lupach binokularnych pojedyncze

Otwornica aglutynująca
w płycie cienkiej. Obraz
z mikroskopu optycznego
w świetle przechodzącym



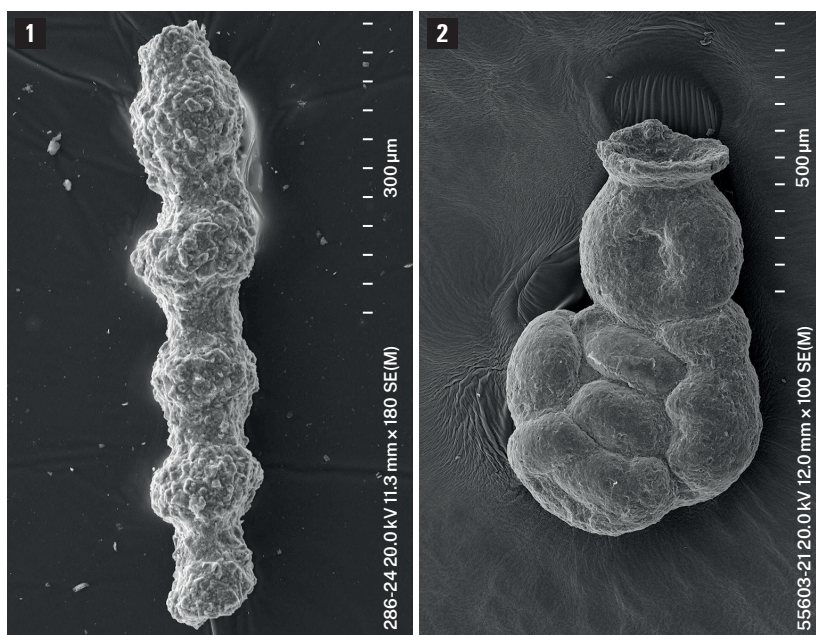
JUSTYNA KOWAŁ-KASPRZYK

ziarna budujące ścianę skorupki u form drobnoziarnistych są nierozróżnialne. Przez to powierzchnia skorupki jest lśniąca i wydaje się gładka. Część skorupki drobnoziarnistych jest transparentna, co pozwala na obserwację budowy wewnętrznej. Z kolei u form gruboziarnistych jest widoczna faktura powierzchni, ale skorupki są nieprzezroczyste. Żeby rozpoznać budowę wewnętrzną, należy skorzystać z obrazu w immersji. Obserwacje są wówczas prowadzone na okazach zanurzonych w cieczach immersyjnych, które istotnie poprawiają rozdzielczość obrazu. W zależności od potrzeb wykorzystuje się w tym celu różne substancje, najczęściej oleje, wodę lub alkohol. Analiza wewnętrznej budowy odbywa się bez konieczności uszkodzenia okazu. Skorupki otwornic karpackich są dość jednorodne pod względem kolorystycznym, charakterystyczne są dla nich różne odcienie szarości. Wyjątek stanowią skamieniałości pochodzące z czerwonych mułowców, margli lub iłowców, które przyjmują tonację barwną osadu otaczającego.

Obraz z mikroskopu elektronowego jest z kolei obrazem pośrednim, który powstał przez skanowanie strumieniem elektronów badanej powierzchni. Pozwala to na bardzo precyzyjne badanie okazów. Obrazy skaningowe są powszechnie wykorzystywane w badaniach otwornic ze względu na możliwości uzyskania bardzo dużych powiększeń. Stosuje się je zarówno do analizy ogólnej morfologii okazów, jak i do szczegółowych analiz pojedynczych komponentów skorupki. Obrazowanie to daje możliwość uzyskania tylko wizerunku zewnętrznej powierzchni badanych elementów. Żeby ustalić budowę wewnętrzną i zajrzeć do środka skorupki otwornic, należy więc to wnętrze wyeksponować przez mechaniczne otwarcie skorupki. Uzyskany obraz jest prezentowany najczęściej w odcieniach szarości, ale można go też koloryzować komputerowo.

Obecnie w badaniach mikropaleontologicznych są też stosowane bardziej zaawansowane techniki analizy mikroskopowej, polegające na skanowaniu wewnętrznych struktur metodami tomografowymi. Do takich badań starannie selekcjonuje się okazy, gdyż obrazowanie form otwornicowych tą metodą jest dość czasochłonne. Mikrotomografia komputerowa jest metodą o dużej rozdzielczości, która daje podstawy do tworzenia modeli 3D dla różnych przekrojów skorupki. Należy do metod nieinwazyjnych, które nie niszczą struktury skamieniałości.

Uzyskanie trójwymiarowych obrazów skamieniałości otwornic karpackich nie zawsze jest łatwe, ponieważ występują one w skałach osadowych, stanowiąc ich część. Skały te reprezentują środowisko, w którym skamieniałości zostały zdeponowane i w którym przeszły proces fosylizacji. Są to najczęściej mułowce lub margle, rzadziej wapienie, piaskowce czy rogowce. Obraz otwornicy, który można uzyskać, zależy więc w dużej mierze od stopnia zespo-



lenia skorupki ze skałą. Jeśli skorupki nie są mocno związane, poddaje się je procedurze separacji, by uzyskać pojedyncze, kompletne pancerzyki, które można badać wcześniej wymienionymi metodami. Z kolei w przypadku istotnego zespolenia otwornicy ze skałą wykorzystuje się płytki cienkie, czyli cienkie plasterki skały przygotowane jako preparaty mikroskopowe, przystosowane do analiz w aparaturze optycznej. Obraz otwornicy w płytce cienkiej, zwanej szlifem, jest zawsze dwuwymiarowym przekrojem skorupki. Daje on dobrą możliwość obserwacji struktury ściany, ale interpretacja morfologii całej skorupki bywa ograniczona i zależy od obserwowanej linii przekroju. W zależności od kształtu szkieletu przekroje poprzeczne lub podłużne są przekrojami optymalnymi, które dają możliwości identyfikacyjne, a najdokładniejsze oznaczenia są możliwe, gdy w jednej płytce mamy kilka różnych przekrojów skamieniałości tego samego typu.

W praktyce mikropaleontologicznej przyjęto zwyczaj ilustrowania skamieniałości, zwłaszcza holotypu, czyli okazu, na podstawie którego opisano gatunek. Obraz stał się integralną częścią definicji taksonu i jest ważnym elementem dokumentacyjnym, stosowanym w większości prac mikropaleontologicznych. W XIX wieku i pierwszej połowie XX wieku rejestracja obrazu polegała na odwzorowaniu morfologii za pomocą rysunku paleontologicznego. Była to ilustracja obrazu mikroskopowego, zwykle pokazująca okaz z różnych stron i wyraźnie prezentująca cechy diagnostyczne taksonu. Obecnie zachowanie obrazu odbywa się przy zastosowaniu technik fotograficznych. Jest to procedura powszechna i ogólnodostępna. Dlatego też oprócz funkcji diagnostycznych obraz pełni też funkcje dokumentacyjne. ■

Fot. 1

Okaz z rodzaju *Rephanus*.
Obraz ze skaningowego
mikroskopu elektronowego

Fot. 2

Okaz z rodzaju
Paratrochamminoides.
Obraz ze skaningowego
mikroskopu elektronowego

Chcesz wiedzieć
więcej?

11th International Workshop
on Agglutinated Foraminifera,
Micropaleontological
Foundation Krakow,
<http://micropresseurope.eu/>.

Foraminifera Gallery
– illustrated Foraminifera catalog,
<https://foraminifera.eu/>.

Jones R.W., *Foraminifera and
their Applications*, 2013.

Łuczowska E.,
Mikropaleontologia. Protozoa,
1993.