

Konkrecje hiatusowe z iłów rudonośnych Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej

Michał Zatoń*, Leszek Marynowski*, Grażyna Bzowska*



M. Zatoń L. Marynowski G. Bzowska

Hiatus concretions from the ore-bearing clays of the Cracow-Częstochowa Upland (Polish Jura). *Prz. Geol.*, 54: 131–138.

Summary. Hiatus concretions are early-diagenetic sedimentary bodies, which in their history of formation, underwent exhumation during sedimentation break and/or erosion of sea-floor. Then they were colonized by various encrusters and borers, before they were buried again. Within Middle Jurassic (Bajocian through Bathonian) clays, hiatus concretions occur in four localities in the Cracow-Częstochowa Upland (south and central Poland): Ogrodzieniec, Bugaj, Mokrsko and Krzyworzeka. Preliminary data about their mineralogy, organic geochemistry and palaeoecology is given. Mineralogical analyses showed, that except dominant high Mg-calcite (up to 87.10%

of total carbonates), concretions possess minor amounts of such compounds as quartz, clay minerals (kaolinite and illite), pyrite, siderite or Mg-kutnahorite. However, high differences are observed between total organic carbon contents of concretions (TOC=0.46%) and surrounded clays (TOC = 2.16%), but their molecular composition is similar. Most of identified biomarkers are of terrestrial origin. In clay lithology, the hiatus concretions are the only sedimentary bodies that clearly mark the sedimentation pauses (hiatuses). In the investigated area, they form more or less continuous horizons. The concretions are calcitic, possessing various encrusting fauna such as bryozoans, oysters and oyster-like bivalves, serpulids, solitary corals and foraminifers. They often post-date the borings, belonging to such ichnogenera as *Gastrochaenolites*, *Trypanites* and *Entobia*. Some of the nodules show distinct transition from firmground (characterized by the presence of *Glossifungites* ichnocoenosis) to hardground (presence of *Trypanites* ichnocoenosis), pointing to the fact, that they formed at, or very close to, the sediment-water interface. Some concretions, like those from Bugaj and Mokrsko, are characterized by their high diversity of hard bottom communities. Those concretions are also irregular in shape; others, like those from Ogrodzieniec and Krzyworzeka, possess lower diversity. The concretions from Krzyworzeka are especially dominated by the borers, while the encrusters are sparse and not diverse. Those nodules that are wide and flat tend to be more bored on one surface only, while those that are more roundish, are bored on both sides more evenly. The degree of diversity is probably correlated with physical disturbance, causing the rolling and overturning of the exhumed concretions in the littoral zone. On the other hand, the overall diversity could be lowered due to destructive abrasion either of the shallowest borings, echinoid/gastropod scratch marks and shells of nestling bivalves, as well as more delicate epilithozoans.

Key words: hiatus concretions, Middle Jurassic, the Cracow-Częstochowa Upland, borers, encrusters

Termin „konkrecje hiatusowe” został wprowadzony przez Voigta (1968) i odnosi się do wczesnodiagenetycznych konkrecji, które w historii swojego rozwoju przeszły etap ekshumacji podczas przerwy w sedymentacji lub erozji dna morskiego. Efektem ekshumacji z kolei, jest ich kolonizacja przez różnorodną faunę cementującą i/lub drążącą, co jest ich odpowiedzią na zmianę konsystencji osadu (np. Kennedy & Klinger, 1972; Fürsich, 1979; Baird, 1981; Taylor & Wilson, 2003).

Wystąpienia tego typu konkrecji w drobnoziarnistych osadach silikoklastycznych, jakimi są środkowojurajskie iły rudonośne, pozwalają na dokładne wyznaczenie powierzchni nieciągłości, powstałych nieraz w okresach bardzo długich przerw w sedymentacji, trwających nieraz kilkaset tysięcy do nawet kilku milionów lat (patrz Kennedy & Klinger, 1972; Hesselbo & Palmer, 1992), bądź ze zróżnicowaną subsydencją basenu (Wetzel & Allia, 2000). Są one również wynikiem precypitacji węglanowej w czasach tzw. „mórz kalcytowych”, dominujących we wczesnym paleozoiku i późnym mezozoiku (patrz Palmer & Wilson, 2004). Najwięcej danych o konkrecjach hiatusowych, *de facto*, pochodzi z dewonu (Baird, 1976, 1981), jury (Hallam, 1968; Kaźmierczak, 1974;

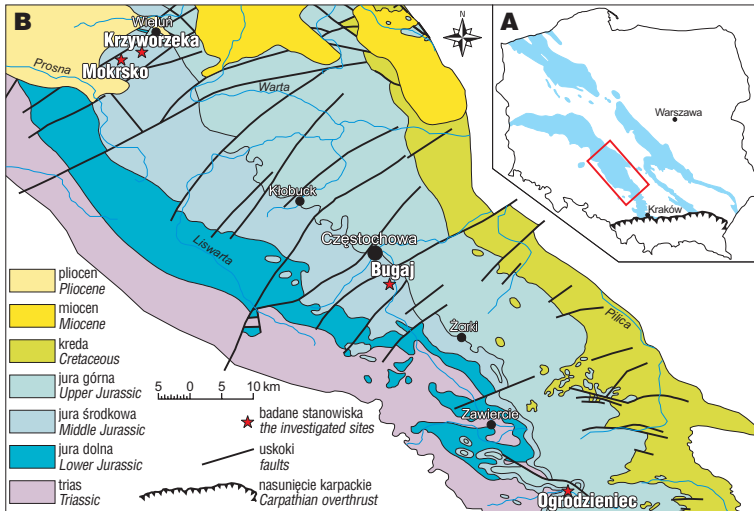
Baird & Fürsich, 1975; Fürsich, 1979; Hesselbo & Palmer, 1992; Wetzel & Allia, 2000) i kredy (Kennedy & Klinger, 1972; Kennedy i in., 1977).

Z powyższego wynika, iż konkrecje hiatusowe odgrywają istotną rolę zarówno w badaniach sedymentologicznych, jak i paleoekologicznych. Pozwalają one na wykrycie przerw w sedymentacji i obserwację sukcesji ekologicznej organizmów, których obecność w środowisku o miękkim dnie jest silnie ograniczona. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wstępnych wyników badań i obserwacji nad konkrecjami hiatusowymi, występującymi na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Jura-Polska). Wyniki te na razie obejmują obserwacje sedymentologiczne w profilach, analizy rentgenostrukturalne i geochemiczne (materia organiczna), jak i paleoekologiczne poszczególnych konkrecji. W przyszłości, badania te będą poszerzone o analizy stabilnych izotopów ^{18}O i ^{13}C , w celu dokładniejszego prześledzenia ich genezy.

Lokalizacje, wiek oraz charakterystyka występowania konkrecji hiatusowych na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej

Poziomy konkrecji hiatusowych zostały stwierdzone w czterech odsłonięciach, w miejscowościach położonych na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Idąc od południa na północ, są to: Ogrodzieniec, Bugaj, Mokrsko i Krzyworzeka (ryc. 1). We wszystkich czułych profilach, konkrecje hiatusowe występują w środkowojurajskich iłach (ryc. 2), należących do formacji częstochowskich

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; mzaton@wnoz.us.edu.pl; marynows@wnoz.us.edu.pl; gbzowska@wnoz.us.edu.pl



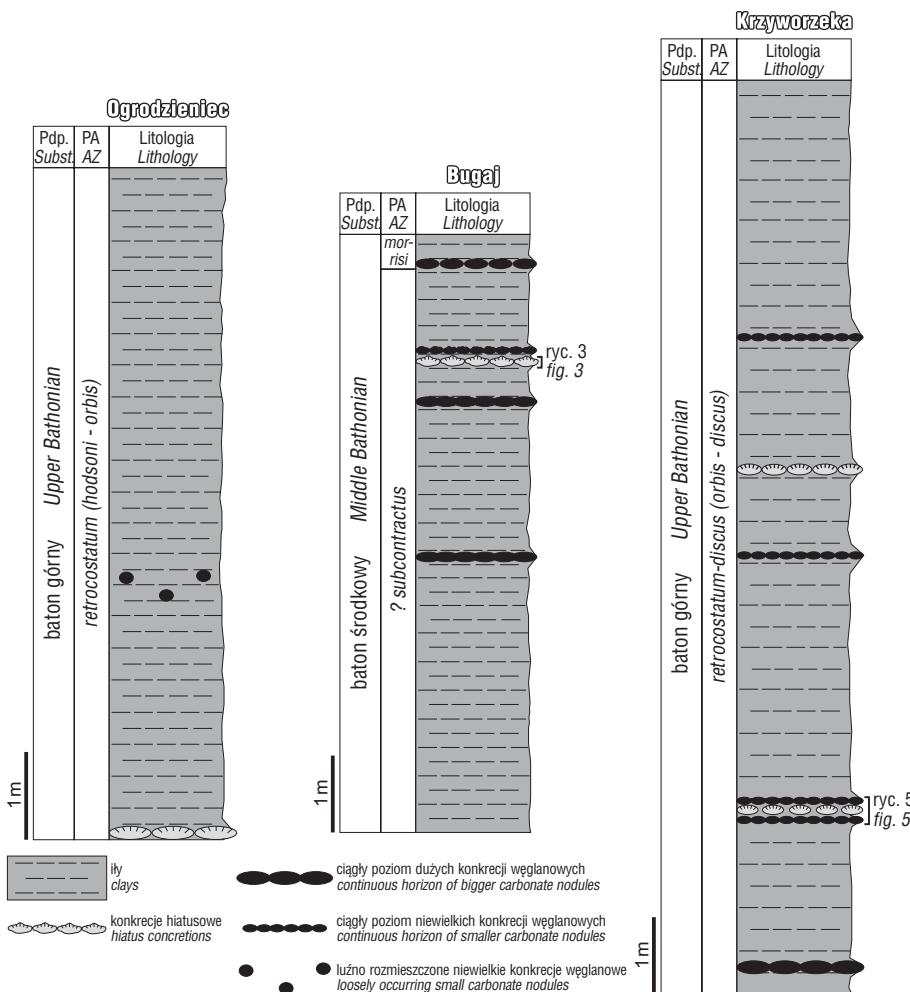
Ryc. 1. A — mapa Polski z zaznaczonymi utworami jurajskimi i terenem badań (czerwona ramka); B — Mapa geologiczna Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej bez utworów plejstocenu i holocenu
Fig. 1. A — geological map of Poland with marked Jurassic deposits and investigated area (red frame); B — Geological map of the Cracow-Częstochowa Upland without the Pleistocene and Holocene deposits

iłów rudonośnych (patrz Dayczak-Calikowska i in., 1997; Kopik, 1998). Iły te są łagodnie, monoklinalnie nachylone w kierunku NE i są przelawiczone szeregiem mniej lub bardziej ciągłych poziomów konkrecji syderytowych, masywnych syderytów pokładowych lub konkrecji kalcytowych (np. Majewski, 2000; Matyja & Wierzbowski, 2000; Zatoń & Marynowski, 2004). W przeciwieństwie do konkrecji hiatusowych, w/w poziomy konkrecyjne mogą występować po kilka w jednym profilu i zawierają, zazwyczaj dobrze zachowane skamieniałości.

W Ogrodzieńcu, konkrecje hiatusowe występują w dnie nieczynnej już gliniarki, eksploatującej niegdyś ily batonu górnego (ryc. 2). Znalezione tam amonity *Oxycerites* (*Oxycerites*) *fuscoides* (w pobliżu poziomu z konkrecjami), a także *Bullatimorphites* (*Bullatimorphites*) *costatus* i *Oxycerites* (*Oxycerites*) *orbis* (znacznie powyżej) świadczą o ich górnobatońskim wieku (patrz Hahn i in., 1990). Same konkrecje hiatusowe mogą należeć do najniższego poziomu amonitowego *retrocostatum* w podziale submedyterańskim (lub najwyższej części poziomu *hodsoni* w podziale subborealnym — patrz Mangold & Rioult, 1997), lub do wyższej części poziomu *retrocostatum*, który jest już odpowiednikiem poziomu *orbis* w podziale subborealnym (patrz Mangold & Rioult, 1997). Konkrecje te są płaskie bądź owalne, kilku- do kilkunastocentymetrowej średnicy w najdłuższej ich osi, barwy jasnożółtej.

W Bugaju, konkrecje hiatusowe występują w zasypywanym już powoli wyrobisku, gdzie odsłaniają się ily batonu środkowego. Profil został wykonany na południowej ścianie wyrobiska. Tutaj, konkrecje tworzą mniej lub bardziej ciągły poziom, występujący nieco ponad jeden metr poniżej konkrecji syderytowych zawierających amonity z rodzaju *Morrisiceras* (ryc. 2). Ze względu na brak znalezisk diagnostycznych amonitów zarówno w obrębie horyzontu z konkrecjami, jak i poniżej, dokładne położenie stratygraficzne omawianych konkrecji nie jest na razie jasne. Można tylko przypuszczać, że występują one w górnej części amonitowego poziomu *subcontractus* lub dolnej (najniższej?) już części poziomu *morrisi*. Konkrecje te charakteryzują się małymi i średnimi rozmiarami, owalnym lub nieregularnym kształtem, oraz jasno-szarą barwą. W odsłonięciu

W Ogrodzieńcu, konkrecje hiatusowe występują w dnie nieczynnej już gliniarki, eksploatującej niegdyś ily batonu górnego (ryc. 2). Znalezione tam amonity *Oxycerites* (*Oxycerites*) *fuscoides* (w pobliżu poziomu z konkrecjami), a także *Bullatimorphites* (*Bullatimorphites*) *costatus* i *Oxycerites* (*Oxycerites*) *orbis* (znacznie powyżej) świadczą o ich górnobatońskim wieku (patrz Hahn i in., 1990). Same konkrecje hiatusowe mogą należeć do najniższego poziomu amonitowego *retrocostatum* w podziale submedyterańskim (lub najwyższej części poziomu *hodsoni* w podziale subborealnym — patrz Mangold & Rioult, 1997), lub do wyższej części poziomu *retrocostatum*, który jest już odpowiednikiem poziomu *orbis* w podziale subborealnym (patrz Mangold & Rioult, 1997). Konkrecje te są płaskie bądź owalne, kilku- do kilkunastocentymetrowej średnicy w najdłuższej ich osi, barwy jasnożółtej.



Ryc. 2. Badane profile z zaznaczonymi poziomami konkrecji hiatusowych; Pdp. — podpiętro, PA — poziom amonitowy. Konkrecje hiatusowe nie są pokazane w skali
Fig. 2. Investigated sections with marked hiatus concretions-bearing horizons; Subst. — substage, AZ — ammonite zone. Hiatus concretions are not shown to scale

mogą one być miejscami położone jedno na drugim, z przerwą pomiędzy nimi (ryc. 3).

W Mokrsku, konkretje hiatusowe można obserwować w dwóch, niezbyt oddalonych od siebie, czynnych wyrobiskach cegielnianych („Mokrsko” i „Złote Góry”). Niestety, osady ilaste są tutaj silnie zaburzone glacitektonicznie, a ściany większej części wyrobiska są silnie zapełnione, co powoduje, iż nie wiadomo dokładnie z iloma poziomami konkretji mamy tutaj do czynienia. Konkretje te, widoczne w różnych miejscach wyrobisk, tworzą ciągle poziomy. Często towarzyszy im poziom konkretji syderytowych (ryc. 4). Wielkość ich zazwyczaj jest zbliżona do konkretji z Bugaja, aczkolwiek spotykane są również duże, do ok. 15 cm średnicy. Występujące w ile amonity z podrodzaju *Parkinsonia* (*Parkinsonia*), a także znaleziona w obrębie poziomu z konkretjami hiatusowymi *Parkinsonia* (*Durotrigensia*) *pseudoferruginea*, może wskazywać na najwyższy bajos (poziom *parkinsoni*).

W Krzyworzece, konkretje hiatusowe tworzą dwa, wyraźne poziomy, z czego poziom górny jest nieciągły (ryc. 2, 5). Konkretje te są małej i średniej wielkości, szersze i bardziej płaskie aniżeli z Bugaja czy Mokrska, barwy jasnożółtej. W profilu, niektóre konkretje mogą tkwić ukosem lub pionowo (ryc. 5). Amonity występują tutaj bardzo rzadko, dlatego też jest problem z datowaniem osadów za pomocą tych skamieniałości. Według datowania dinocystowego Poulsena (1998), ility z Krzyworzeki reprezentują na obszarze Jury Polskiej najmłodsze osady batońskie, zawierające się w przedziale dinocystowej zony DSJ17, odpowiadającej górnobatońskim amonitowym poziomom *retrocostatum-discus* (w podziale subborealnym *orbis-discus* — patrz Poulsen, 1998).

Charakterystyka mineralogiczna i geochemiczna konkretji hiatusowych

Analiza rentgenostrukturalna. Oprócz obserwacji makroskopowych konkretji hiatusowych, wykonano również badania ich składu mineralnego przy użyciu dyfrakto-



Ryc. 3. Konkretje hiatusowe w Bugaju. W wyniku transportu, niektóre konkretje leżą na sobie

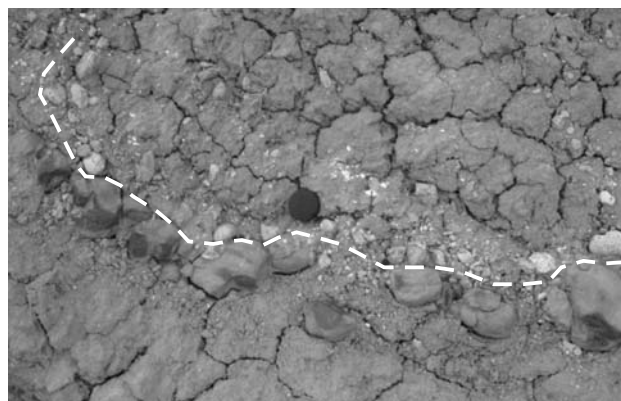
Fig. 3. Hiatus concretions from Bugaj. Due to transportation, some of them may lay on each other

metru rentgenowskiego firmy Philips PW 3710. Podstawowy, budujący je minerał to kalcyt z pewną zawartością magnezu w strukturze. Jeśli przyjąć zawartość 4–5% $MgCO_3$ w kalcytyce za wartość graniczną kalcytu nisko- i wysokomagnezowego, to konkretje z wszystkich czterech badanych miejsc można określić jako wysokomagnezowe, czyli Mg-kalcytowe. Wynika to z przesunięć refleksów kalcytowych w kierunku niższych wartości odległości międzyplaszczczyznowych „d” w stosunku do wzorca kalcytu niskomagnezowego. Z krzywej Dovala & Galana (1976) można oznaczyć, iż kalcyt z Ogrodzieńca i Krzyworzeki charakteryzuje się zawartością ok. 5–6% $MgCO_3$, natomiast kalcyt z Bugaja zawiera ok. 8% $MgCO_3$, a z Mokrska ok. 10% $MgCO_3$.

Kalcyt nie jest jedynym minerałem obecnym w konkretjach. Obok niego występuje w różnych ilościach kwarc — w dużej ilości, ok. 30–40%, w konkretjach z Bugaja i Krzyworzeki, a w mniejszej ilości, ok. 15–20%, w konkretjach z Mokrska i Ogrodzieńca. Wspólnymi dla wszystkich konkretji są też takie minerały, jak: piryt, minerały ilaste — illit i kaolinit oraz dla trzech próbek (z Ogrodzieńca, Bugaja i Krzyworzeki) — syderyt.

Składniki te występują w kilkuprocentowych zawartościach. W konkretjach z Mokrska natomiast, zamiast syderytu pojawił się w ilości kilkunastoprocentowej węglan typu kutnahorytu magnezowego $Ca(Mn,Mg)[CO_3]_2$. W konkretjach z Bugaja i Krzyworzeki, w ilości śladowej, obecny jest też skaień potasowy, a w próbce z Ogrodzieńca — śladowa ilość gipsu, będąca zapewne minerałem wtórnym, tworzącym nalot hipergeiczny.

Geochemia organiczna. Na obecnym etapie przeprowadzono badania konkretji hiatusowych i otaczającego je iltu z Mokrska, określając zawartość węglanów i całkowitego węgla organicznego (TOC), oraz dokonano szczegółowej analizy składu molekularnego materii organicznej przy zastosowaniu chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS). Metodyka badań została opisana szczegółowo w poprzednich pracach (Marynowski i in., 2002, Zatoń & Marynowski, 2004). Konkretje hiatusowe zawierają 87,10% węglanów oraz 0,46% całkowitego



Ryc. 4. Konkretje hiatusowe (powyżej białej przerywanej linii) towarzyszące konkretjom węglanowym (poniżej linii) w Mokrsku. Glacitektoniczne zaburzenie osadów, wyraźnie widoczne w postaci wygięcia konkretji

Fig. 4. Hiatus concretions (above the white and discontinuous line) associated with carbonate nodules (below the line) at Mokrsko. The glacitonic deformation of the sediments, well visible in the concretions' inflexion

węgla organicznego. Są to ilości bardzo zbliżone do wartości uzyskanych dla kongrecji kalcytowych z okolic Częstochowy (węglany: 85,55%, TOC = 0,42% — Zatoń & Marynowski, 2004) oraz dla wielu innych środkowojurajskich, nie zwietrzałych kongrecji węglanowych (Marynowski i in., w przygotowaniu). Zawartość węglanów w iłach z Mokrska wynosi 12,39% natomiast ilość całkowitego węgla organicznego: TOC = 2,16%. Są to wartości charakterystyczne dla skał ilastych deponowanych w polskiej części basenu epikontynentalnego jury środkowej (Bojesen-Koefoed, 1996).

Badania związków organicznych, wchodzących w skład materii organicznej pochodzącej z kongrecji hiatusowych i otaczających je iłów z Mokrska, wykazały wiele cech wspólnych wynikających z tej samej genezy materii źródłowej, oraz pewne różnice mające swą przyczynę w nieco odmiennej historii diagenety wyżej wymienionych typów litologicznych. Materia organiczna w obu przypadkach stanowi mieszaninę lądowo-morskiego materiału źródłowego z wyraźną przewagą materii lądowej. Świadczą o tym:

1) przewaga długołańcuchowych *n*-alkanów nieparzystowęgłowych nad parzystowęgłowymi wyrażająca się wartością wskaźnika $CPI_{(25-31)} = 1,37$ dla kongrecji i $CPI_{(25-31)} = 2,67$ dla iłów (zasady obliczania CPI w pracy Braya i Evansa 1961),

2) przewaga diaster-13(17)-enów o 29 atomach węgla w częstotliwości nad diasterenami C_{27} , C_{28} i C_{30} (patrz Brassell i in., 1986),

3) obecność w obu typach skał charakterystycznych biomarkerów lądowych jak: perylen, kadalen, dehydroabietan, simonellit i reten (Jiang i in., 2000; Otto & Simoneit, 2001). O wkładzie materii organicznej pochodzenia morskiego świadczy obecność w próbkach diaster-13(17)-enów o 27 i 30 atomach węgla. Przewaga związków organicznych pochodzenia lądowego jest charakterystyczna dla utworów jury środkowej badanego obszaru (Zatoń & Marynowski, 2004).

W składzie molekularnym materii organicznej z kongrecji hiatusowych i otaczających je iłów zaobserwowano pewne różnice, zwłaszcza w dystrybucji związków alifatycznych. Kongrecje hiatusowe zawierają znacznie wyższą koncentrację *n*-alkanów krótko-łańcuchowych (maksimum przy C_{21}) w stosunku do długołańcuchowych niż otaczające je ily.



Ryc. 5. Dolny poziom z kongrecjami hiatusowymi (białe strzałki) w Krzyworzece. Przerwana strzałka pokazuje ukośnie ułożoną w ile kongrecję hiatusową

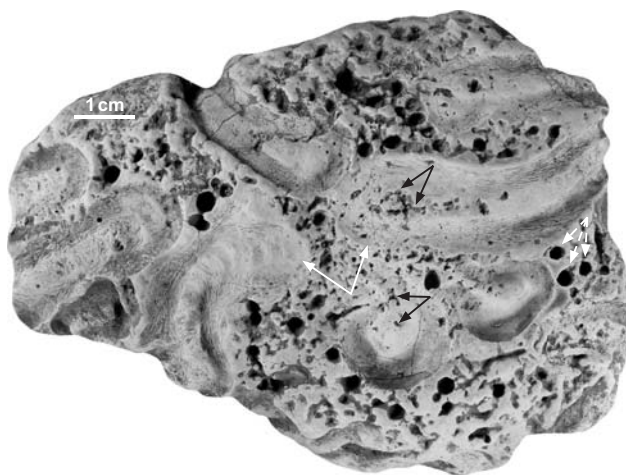
Fig. 5. Lower horizon with hiatus concretions (white arrows) at Krzyworzece. The discontinuous arrow shows the oblique position of the concretion in surrounding clays

czające je ily. Taką sytuację tłumaczyć można większą zawartością materii organicznej pochodzenia bakteryjnego w kongrecjach, których formowanie się jest związane z ich działalnością (np. Raiswell, 1987).

Charakterystyka paleoekologiczna kongrecji hiatusowych

Ze względu na fakt, iż kongrecje hiatusowe z poszczególnych odsłoneń różnią się pod względem różnorodności zasiedlającej ich zarówno epi-, jak i endofauny, zostaną one omówione oddzielnie. Terminologia organizmów zasiedlających twarde podłoża jest zgodna z propozycją Taylora & Wilsona (2002). W przypadku, kiedy mamy do czynienia z twardym podłożem nieorganicznego pochodzenia, jak omawiane kongrecje, wszystkie organizmy zwierzęce inkrustujące takie podłoża nazywa się epilitozoami; natomiast organizmy drążące w tego typu podłożu — endolitozoami. Organizmy, które zasiedlają wklęsłe boczne lub spodnie partie kongrecji, odgrywające rolę „schronienia”, nazywamy kryptolitozoami; natomiast organizmy, które preferują zasiedlać puste wydrążenia — celolitozoami.

Kongrecje hiatusowe z Ogrodzieńca charakteryzują się niewielkim zróżnicowaniem faunistycznym. Wśród epilitozoa dominują serpulidy — *Serpula* (*Cycloserpula*), natomiast mszywioly: „*Berenicea*”, *Ceriodora*, *Stomatopora* i osobnicze koralowce z grupy Caryophyllidae są rzadkie. Miejscami, serpulidy tworzą bardzo gęste skupiska, obrastające się nawzajem. Ciekawostką natomiast są bardzo dobrze zachowane ślady *Glossifungites saxicava*, w postaci kilkucentymetrowych, nie przecinających się, językowatych nor (ryc. 6). Z kolei ślady te dotknięte są drobnymi drążeniami, należącymi do ichnorodzaju *Entobia* (ryc. 6). Ślady *Entobia* są wynikiem drążącej działalności gąbek i występują w postaci nieregularnej sieci kanalików, które mogą być połączone poprzez ujścia z powierzchnią

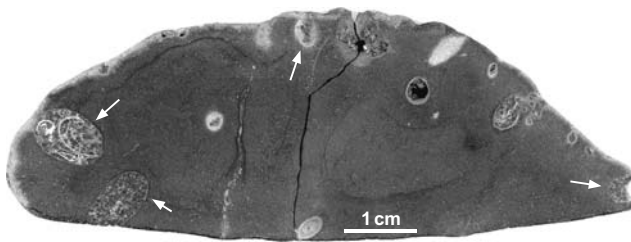


Ryc. 6. Kongrecja hiatusowa z Ogrodzieńca, z bardzo dobrze zachowanymi na powierzchni śladami *Glossifungites saxicava* (białe ciągłe strzałki) podrażnionymi przez *Entobia* (czarne strzałki). Pomiędzy śladami *Glossifungites* są obecne również równoległe drążenia *Gastrochaenolites* (białe przerywane strzałki)

Fig. 6. Hiatus concretion from Ogrodzieniec, with very well-preserved *Glossifungites saxicava* traces (white continuous arrows) and *Entobia* borings (black arrows). Between the *Glossifungites* traces, *Gastrochaenolites* borings are also present (white interrupted arrows)

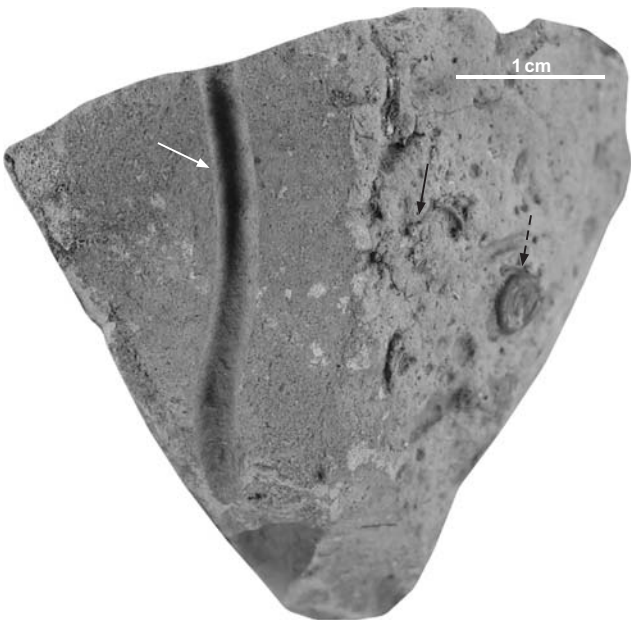
podłoża (np. Kennedy i in., 1977; Bromley, 2004). Obecne są również drażenia *Gastrochaenolites*, które przypisywane są endolitycznym małżom (np. Wilson & Taylor, 2001; Bromley, 2004), chociaż inne organizmy, jak sikwiaki (sipunkulidy), pierścienice czy współczesne ślimaki z grupy magilidów również mogą tworzyć podobne struktury (Bromley, 2004; Benner i in., 2004; Tapanila i in., 2004). Bardziej owalne konkrecje są poobrastane i podrażone z obydwu stron, płaskie natomiast, tylko z jednej.

Konkrecje z Bugaja mają często nieregularne kształty i nierówne powierzchnie, co w widoczny sposób odbija się na bioróżnorodności. Majewski (2000) dokonał próby rekonstrukcji historii powstawania konkrecji hiatusowych z Bugaja, lecz charakterystyka bioróżnorodności organizmów które je kolonizowały nie była przedmiotem jego badań. Konkrecje te są najbardziej zróżnicowane pod względem zasiedlającej fauny. Epilitozoa są zdominowane



Ryc. 7. Przekrój poprzeczny przez konkrecję hiatusową z Bugaja, z dobrze widocznymi drażeniami *Gastrochaenolites* (białe strzałki). Partie proksymalne wydrżeń są wyraźnie zabradowane

Fig. 7. Cross-section of hiatus concretion from Bugaj, with well visible *Gastrochaenolites* borings (white arrows). The proximal parts of the borings are clearly abraded



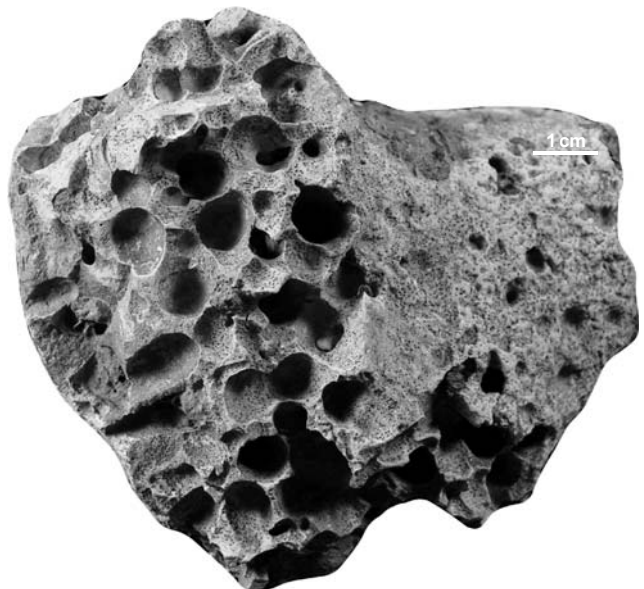
Ryc. 8. Konkrecja hiatusowa z Mokrska, z bardzo dobrze zachowanym drażeniem *Trypanites* (biała strzałka). Czarne strzałki wskazują słabo zachowaną kolonię mszywiolów z rodzaju *Stomatopora* (ciągła strzałka) i serpulida *Serpula* (*Cycloserpula*) — przerywana strzałka

Fig. 8. Hiatus concretion from Mokrsko, with very well-preserved *Trypanites* boring (white arrow). Black arrows show poorly preserved bryozoan colonies of *Stomatopora* (continuous arrow) and serpulid tube belonging to *Serpula* (*Cycloserpula*) — discontinuous arrow

przez serpulidy: *Serpula* (*Cycloserpula*) i *S.* (*Dorsoserpula*), mszywiolę: „*Berenicea*”, *Oncousoecia*, *Hyporospora*, *Ceriacava*, *Stomatopora*, małże: *Liostrea*, *Plicatula*, otwornice *Nubeculinella* i koralowce z grupy Caryophyllidae. Konkrecje mają również buławkowate wydrążenia *Gastrochaenolites* (ryc. 7) oraz drobne należące prawdopodobnie do ichnorodzaju *Trypanites* i *Entobia*. Drażenia *Trypanites*, występujące w postaci cienkich, prostych lub sinusoidalnych rurek, mogły być wykonane przez wieloszczety lub sikwiaki (np. Bromley, 2004).

Konkrecje z Mokrska są bardzo podobne do konkrecji z Bugaja. Także tutaj występują mszywiolę: *Stomatopora*, *Ceriacava*, *Hyporospora*, serpulidy: *S.* (*Cycloserpula*) i *S.* (*Dorsoserpula*) i małże: *Liostrea*, *Plicatula*. Drażenia zaliczane do ichnorodzaju *Gastrochaenolites* i *Trypanites* (ryc. 8), występują po obu stronach konkrecji. Podobnie jak w przypadku konkrecji z Ogrodzieńca, i tutaj występują ślady *Glossifungites*.

Konkrecje z Krzyworzeki są całkowicie odmienne pod względem bioróżnorodności od pozostałych. W konkrecjach tych, zdecydowanie dominują gęsto rozmieszczone wydrążenia *Gastrochaenolites*, a także sporadycznie *Trypanites*. W tym wypadku jednak nie ma wątpliwości, że drażenia ichnorodzaju *Gastrochaenolites* są efektem bioerozyjnej działalności małży, gdyż czasami możemy je znaleźć *in situ*. Bardziej płaskie, szersze konkrecje, wykazują większy stopień bioerozji z jednej tylko strony; druga natomiast ma mniej drażeń, które z reguły są rzadziej rozmieszczone, lecz więcej serpulidów i pojedynczych małżów (*Plicatula*). Konkrecje bardziej zaokrąglone natomiast, są zbioerodowane z dwóch stron jednakowo. Bioerozja niektórych konkrecji była tak silna, że doprowadziła do połączenia się wydrżeń (ryc. 9). Epilitozoa, jeśli w ogóle występują na powierzchni wolnej od wydrżeń, to składają się z jednogatunkowych i wieloosobniczych skupień *S.* (*Dorsoserpula*), jak i niewielkich kolonii mszywiolów „*Berenicea*”, *Ceriacava*. Wiele z nich jednak, obrasta silnie wydrążone przestrzenie i ścianki wewnątrz



Ryc. 9. Silnie podrażona konkrecja hiatusowa z Krzyworzeki, z dobrze widocznymi (zabradowanymi) drażeniami *Gastrochaenolites*

Fig. 9. Strongly bored hiatus concretion from Krzyworzeka, with well visible (abraded) *Gastrochaenolites* borings

konkrecji. W wydrążeniach często również występują niewielkie małże, będące celolitozoami.

Epifauna badanych konkrecji nie tylko ogranicza się do ich nieorganicznej powierzchni, lecz również do innych osobników (epizoozoa, wg Taylora & Wilsona, 2002). Problem jednak w tym, że w wielu przypadkach nie wiemy, czy organizm był inkrustowany za swojego życia, co poważnie utrudnia nam badanie konkurencji między gatunkowej (patrz też Taylor & Wilson, 2003). Łatwiej jest natomiast znaleźć dowody na to, że inkrustowany organizm był już martwy. Przykładem może być inkrustacja lub drażnienie dolnej, scementowanej z podłożem, skorupki ostrygi lub inkrustowanie całej serpuły wraz z jej aperturą przez kolonię mszywiolów. Można jednak prześledzić następstwo (sukcesję) fauny, spowodowane różnorodnymi biotycznymi lub fizycznymi czynnikami. Sukcesja ta jest często bardzo dobrze widoczna na badanych konkrecjach. Generalnie jednak, etap inkrustacji jest późniejszy niż etap bioerozji konkrecji, co możemy tłumaczyć procesem zajmowania nowych nisz przez krypto- i celolitozoa.

Geneza konkrecji hiatusowych

Wiele badań nad konkrecjami hiatusowymi różnego wieku (patrz powyżej) pokazało, iż historia ich powstawania jest złożona i wielofazowa. Możemy wyróżnić pięć głównych faz ich rozwoju (Wetzel & Allia, 2000): 1) formowanie się konkrecji; 2) ekshumacja konkrecji; 3) zasiedlanie konkrecji przez faunę inkrustującą i drażącą; 4) ponowne pogrzebanie konkrecji; 5) precypitacja dodatkowego cementu. Dwa ostatnie punkty jednak nie będą tutaj omawiane, gdyż wymagają one szerszych badań (głównie izotopów stabilnych ^{18}O i ^{13}C , patrz np. Wetzel & Allia, 2000). Graficzny model powstawania konkrecji hiatusowych bardzo dobrze został przedstawiony przez Kennedy'ego & Klingera (1972)

Formowanie się konkrecji. Powszechnie uważa się (np. Kennedy i in., 1977; Raiswell, 1987; Hesselbo & Palmer, 1992), że powstawanie konkrecji związane jest z procesami wczesnej cementacji zachodzącej w strefie redukcji siarczanów, przy znacznie zredukowanym tempie sedymentacji (patrz Raiswell, 1987; Wetzel & Allia, 2000). Bakteryjna anaerobowa oksydacja materii organicznej spowodowała wzrost zasadowości, co wywołało precypitację węglanów (Wetzel & Allia, 2000). Tego typu procesy zostały już zrekonstruowane eksperymentalnie przez Bernera (1968). Jak wykazała analiza GC-MS, tego typu bakteryjna oksydacja materii organicznej wpłynęła na częściowe usunięcie materii lądowej z równoczesnym wzbogaceniem jej w składniki organiczne pochodzące wprost od anaerobowych bakterii. Powyższe wstępne tezy wymagają rozwinięcia i potwierdzenia w dalszych, bardziej szczegółowych badaniach.

Biorąc pod uwagę fakt, iż tego typu konkrecje przeszły procesy ekshumacji, ważną kwestią jest, na jakiej głębokości powstawały. Badania ichnologiczne Savrda & Bottjera (1988) pokazały, iż geneza i wczesna cementacja konkrecji zachodziła przy, lub tuż poniżej granicy woda-osad. Jak już wspomniano, konkrecje z Ogrodzieńca i Mokrska posiadają na swojej powierzchni dobrze zachowane ślady *Glossifungites saxicava*. Tego typu ichnoskamieniałości charakteryzują ichnofację *Glossifungites* i są charakterystyczne dla morskich, utwardzonych lecz jeszcze nie zlitfikowanych osadów (*firmground*) (patrz Frey i in., 1990; Gingras i in., 2001). Charakterystyczne są również dla granic sekwencji i erozyjnych powierzchni transgresywnych (Savrda, 1995). Obecność *Glossifungites* na omawianych

konkrecjach świadczy o tym, że: 1) osad węglanowy tworzący konkrecje nie był zlitfikowany podczas penetracji, 2) zalegał tuż przy, lub bardzo płytko pod powierzchnią dna, oraz 3) ryciu w tego typu utwardzonym podłożu musiały towarzyszyć przerwy w sedymentacji i/lub erozja (patrz Gingras i in., 2001).

Ekshumacja. Fakt, że konkrecje uległy ekshumacji musi świadczyć o ich płytkim zaleganiu tuż pod powierzchnią dna (np. Savrda & Bottjer, 1988) oraz erozji nadległego osadu (np. Hallam, 1969; Kennedy & Klinger, 1972; Kennedy i in., 1977; Baird, 1981). Hesselbo & Palmer (1992) wątpili jednak w erozję spowodowaną samymi czynnikami fizycznymi, jak uważali np. Hallam (1969) czy Kaźmierczak (1974), i zaproponowali dodatkowy, biologiczny czynnik odgrywający kluczową rolę w ekshumacji konkrecji. Czynnikiem tym miałyby być aktywność bezkręgowców, ryjących w luźnym lub utwardzonym podłożu w bliskim kontakcie konkrecji, co powodowałoby zluźnienie osadu i tym samym „łatwiejsze” jego usuwanie przez prąd. Do podobnych konkluzji doszedł już wcześniej Baird (1981).

Biorąc pod uwagę obecność dosyć dużych skupisk *Glossifungites*, przede wszystkim na konkrecjach z Ogrodzieńca, bardzo prawdopodobne jest, że ekshumacja konkrecji była promowana przez ryjącą działalność fauny.

Zasiedlanie konkrecji przez faunę inkrustującą i drażącą

W środowiskach o miękkim dnie, epi- i endolitozoa są zazwyczaj ograniczone do niewielkich, twardych powierzchni pochodzenia biologicznego, jakimi są na przykład epibentosowa fauna muszlowa (żywa lub martwa) oraz kłody drewna, kolonizowane w trakcie ich dryfu lub na powierzchni osadu. W środkowojurajskich ilach rudonośnych, faunę twardego dna można spotkać właśnie na tego typu podłożach. Kolonizacja ta jest jednak ograniczona zarówno tempem sedymentacji, jak i nierównomiernym rozmieszczeniem tego typu substratu.

W tego typu środowisku ilastym, w trakcie przerwy w sedymentacji, ekshumowane konkrecje są natychmiast kolonizowane przez różnorodną faunę inkrustującą i drażącą, co jest naturalną odpowiedzią na zupełnie odmienną konsystencję osadu. Dłuższa przerwa w sedymentacji pozwala na ich kolonizację nieraz przez wiele generacji organizmów. Wilson (1987), na podstawie analizy otoczków i innych luźnych fragmentów skał wykazał, że zróżnicowanie kolonizującej je fauny zależy również w dużym stopniu od dynamiki środowiska. Generalnie, wzrost energii środowiska, doprowadzający do przewracania luźnych fragmentów skalnych, prowadzi do wzrostu zróżnicowania zasiedlającej je fauny. Ciągłe, intensywne przewracanie jednak, nie pozwala na częstą kolonizację, co wiąże się ze spadkiem zróżnicowania. Niskie zróżnicowanie może być również wynikiem zupełnego spokoju w środowisku. W takim wypadku dochodzi zwykle do dominacji jednego gatunku (Wilson, 1987). Do ekshumowanych konkrecji również możemy zastosować model Wilsona (1987), co pozwala na ocenę dynamiki środowiska poprzez analizę zróżnicowania kolonizującej je fauny.

Konkrecje z Bugaja i Mokrska, posiadające bardziej nieregularne kształty i bardziej zróżnicowaną faunę, mogły być częściej przemieszczane po dnie. Fauna inkrustująca, jak i drażąca obecna jest na wszystkich stronach konkrecji,

a wiele szkielecików należących do epilitozoa jest zabradowana. Jest to wynikiem przemieszczania jednych konkrecji nad innymi. Potwierdzeniem tego typu procesów jest zaleganie w pewnych miejscach jednych konkrecji nad innymi (patrz ryc. 3). Ścięte proksymalne partie wydrążeń również świadczą o tego typu procesach abrazyjnych (Fürsich, 1979; Taylor & Wilson, 2003) (ryc. 7, 9). Z drugiej strony, duże zróżnicowanie fauny może być również spowodowane nierównościami, jakie charakteryzują te konkrecje. Spełniały one role dodatkowych nisz ekologicznych dla wielu organizmów reprezentujących krypto- i celolitozoa, jak otwornice, mszywioly i serpulidy.

Konkrecje z Krzyworzeki charakteryzują się niskim stopniem zróżnicowania (patrz wyżej). Długi okres ich spoczywania na dnie, z górną częścią wyeksponowaną, spowodował ich zasiedlenie głównie przez populację endolitycznych małży. Konkrecje te były następnie przewracane i ponownie kolonizowane przez drążące małże. Konkrecje bardziej płaskie, o szerszej podstawie, były bardziej stabilne i nie ulegały częstemu przewracaniu, co jest dobrze widoczne w nierównomiernym stopniu ich podrażenia. Z kolei te, które miały bardziej obłe kształty, były bardziej podatne na przemieszczanie. W wyniku tego ich powierzchnie nie tylko są podrażone mniej więcej w jednakowym stopniu, lecz także noszą ślady intensywnej abrazji proksymalnych partii wydrążeń.

Gęstość populacji endolitozoa jest więc tutaj wypadkową zarówno kształtu samych konkrecji jak i dynamiki środowiska zewnętrznego. Zróżnicowanie fauny inkrustrującej natomiast, może być w głównej mierze spowodowane utworzeniem nowych nisz ekologicznych dla krypto- i celolitozoa poprzez bioerozyjną działalność samych małży, a nie fizycznymi czynnikami zewnętrznymi. Fakt ten podkreślony jest kolonizacją wydrążeń przez serpulidy, mszywioly oraz małże. Podobne pod względem zróżnicowania są konkrecje z Ogródzieńca, które charakteryzują się głównie występowaniem wydrążeń. Tutaj jednak, podobnie jak na niektórych konkrecjach z Mokrska, bardzo dobrze widoczne jest następstwo ichnocenoz, w odpowiedzi na zmianę konsystencji osadu. Ichnocenoza *Glossifungites* (patrz ryc. 6), charakterystyczna dla utwardzonych powierzchni (ichnofacji *Glossifungites*) sprzed okresu ekshumacji konkrecji, zmieniła się na ichnocenozy *Trypanites*, charakteryzującą zlitfikowane powierzchnie i twarde dna (ichnofacja *Trypanites*) — Frey & Seilacher, 1980; Frey i in., 1990.

Należy zaznaczyć, iż środowisko podczas ekshumacji i kolonizacji konkrecji było płytkie. Chociaż różne grupy organizmów endolitycznych wykazują różne preferencje w stosunku do dynamiki i batymetrii środowiska (np. Bromley, 1970, 1991), drążące małże najbardziej aktywne są w płytkich, litoralnych strefach (Bromley, 1970; Radwański, 1970). Ichnorodzaj *Gastrochaenolites*, na przykład, jest uważany za wskaźnik płytkich wód, a gdy zespół kolonizatorów jest zdominowany przez gęstą populację tego ichnorodzaju, jak w przypadku Krzyworzeki, głębokość wód można szacować tylko na kilka metrów (Bromley, 1991). Dlatego też przemieszczanie konkrecji i spowodowane tym ślady abrazji na ich powierzchniach, były zapewne powodowane przez prądy litoralne (patrz Radwański, 1970). Procesy abrazyjne z kolei, mogły zatrzeć płytsze wydrążenia lub powierzchniowe ślady pozostawione przez żerujące na glonach jeżowce lub ślimaki, a także

doprowadzić do zniszczenia skorupki małży zasiedlających puste wydrążenia (Radwański, 1970; Bromley & Asgaard, 1993). Tak więc ogólne zróżnicowanie zarówno epi-, jak i endolitozoa może być w przypadku omawianych konkrecji zaniżone na korzyść głębszych wydrążeń (w przypadku edolitozoa) i epifauny charakteryzującej się na tyle mocnym szkieletem, że nie ulega całkowitej abrazji (patrz Wilson, 1986). Omawiane konkrecje hiatusowe przeszły co najmniej dwa, następujące po sobie etapy ekshumacji i pogrzebienia, co już zauważył Majewski (2000). Jest to wyraźnie widoczne w drążeniach przecinających cement wypełniający wcześniejsze wydrążenia, a powstały podczas pierwszego etapu pogrzebienia.

Podsumowanie

Konkrecje hiatusowe na obszarze Jury Polskiej zostały zanotowane w czterech miejscach: Ogródzieńcu, Bugaju, Mokrsku i Krzyworzecce. Są one niewątpliwie ważnym elementem monotonnej sekwencji środkowojurajskich ilów rudonośnych, gdyż zaznaczają wyraźne zdarzenia sedymentologiczne (przerwy w sedymentacji, erozja, ekshumacja konkrecji) i ekologiczne (kolonizowanie ich przez faunę twardego dna). Na konkrecjach obecne są dwie grupy organizmów kolonizujących: epilitozoa, w postaci mszywiolów, ostrzy, serpulidów, otwornic, osobniczych koralowców; oraz endolitozoa, na które składają się organizmy drążące (małże, wieloszczety, gąbki), które pozostawiły po sobie szereg wydrążeń klasyfikowanych do ichnorodzajów *Gastrochaenolites*, *Trypanites* i *Entobia*. Zróżnicowanie organizmów kolonizujących omawiane konkrecje jest zmienne i może się wiązać z odmienną dynamiką środowiska fizycznego. Może ono również być zaniżone poprzez abrazyjną działalność prądów w płytkich strefach litoralnych, niszczących zarówno najpłytsze wydrążenia, jak również epilitozoa o delikatnych szkielecicach. Bardzo ciekawą cechą charakteryzującą niektóre konkrecje jest wyraźne przejście od ichnocenozy *Glossifungites* (charakterystycznej dla utwardzonych powierzchni) do ichnocenozy *Trypanites* (charakterystycznej dla twardych den). Wskazuje to jednoznacznie na formowanie się konkrecji bardzo blisko granicy woda-osad, od konsystencji miękkiej, poprzez utwardzoną aż do twardej, jaką mamy w obecnej postaci.

Składamy serdeczne podziękowania dr. Paulowi Taylorowi (Natural History Museum, Londyn) za pomoc w oznaczeniu mszywiolów, dr. Jarosławowi Stolarskiemu (Instytut Paleobiologii PAN, Warszawa) za oznaczenie koralowców oraz prof. Richardowi Bromleyowi (Geological Institute, Kopenhaga) i prof. Markowi Wilsonowi (The College of Wooster, Ohio), za pomoc w oznaczeniu niektórych ichnoskamieniałości. Recenzentowi serdecznie dziękujemy za cenne uwagi, które pomogły nam się ustrzec przed niepotrzebnymi nadinterpretacjami. M. Zatoń pragnie podziękować amerykańskiemu towarzystwu The Paleontological Society, za sfinansowanie mu niniejszych badań w ramach PaSIRP Sepkowski Grant.

Literatura

- BAIRD G.C. 1976 — Coral encrusted concretions: a key to recognition of a 'shale on shale' erosion surface. *Lethaia*, 9: 293–302.
 BAIRD G.C. 1981 — Submarine erosion on a gentle paleoslope: a study of two discontinuities in the New York Devonian. *Lethaia*, 14: 105–122.

- BAIRD G.C. & FÜRSICH F.T. 1975 — Taphonomy and biologic progression associated with submarine erosion surfaces from the German Lias. *Neues Jahrb. Geol. und Paläont., Monatshefte*, H.6: 321–338.
- BENNER J.S., EKDALE A.A. & DE GIBERT J.M. 2004 — Macroborings (*Gastrochaenolites*) in Lower Ordovician hardgrounds of Utah: sedimentologic, paleoecologic, and evolutionary implications. *Palaaios*, 19: 543–550.
- BERNER R.A. 1968 — Calcium carbonates concretions formed by the decomposition of organic matter. *Science*, 159: 195–197.
- BOJESSEN-KOEFOED J.A. 1996 — Organic geochemical screening analysis of outcrop samples. EFP-95Project: The Polish Middle to Late Jurassic epicratonic basin, stratigraphy and basin history. GEUS Raport, 1996/81: 1–30.
- BRASSELL S.C., EGLINTON G. & MO F.J. 1986 — Biological marker compounds as indicators of the depositional history of the Maoming oil shale. *Organic Geochemistry*, 10: 927–941.
- BRAY E.E. & EVANS E.D. 1961 — Distribution of *n*-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22: 2–15.
- BROMLEY R.G. 1970 — Borings as trace fossils and *Entobia* cretacea Portlock, as an example. [In:] Crimes T.P. & Harper J.C. (eds.), *Trace Fossils. Geol. Jour. Spec. Issue*, 3: 49–90.
- BROMLEY R.G. 1991 — The palaeoecology of bioerosion. [In:] Donovan S.K. (ed.), *The Palaeobiology of Trace Fossils*. John Wiley & Sons: 134–154.
- BROMLEY R.G. 2004 — A stratigraphy of marine bioerosion. [In:] McIlroy D. (ed.) — *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analyses*. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 228: 455–479.
- BROMLEY R.G. & ASGAARD U. 1993 — Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. *Geol. Rundschau*, 82: 276–280.
- DAYCZAK-CALIKOWSKA K., KOPIK J. & MARCINKIEWICZ T. 1997 — Middle Jurassic. [In:] Marek S. & Pajchlowa M. (eds.), *The epicontinental Permian and Mesozoic in Poland*. Pr. Państw. Inst. Geol., 153: 236–282.
- DOVAL M. & GALAN E. 1976 — Aplicacion del a difraccion de rayos X al estudio de la composition quimica de carbonatos romboedricos naturales. *Boll. Soc. Esp. Ceram. y vidrio*, 15: 27–30.
- GINGRAS M.K., PEMBERTON S.G. & SAUNDERS T. 2001 — Bathymetry, sediment texture, and substrate cohesiveness; their impact on modern *Glossifungites* trace assemblages at Willapa Bay, Washington. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 169: 1–21.
- HAHN W., WESTERMANN G.E.G. & JORDAN R. 1990 — Ammonite fauna of the Upper Bathonian *hodsoni* Zone (Middle Jurassic) at Lechstedt near Hildesheim, Northwest Germany. *Geol. Jahrb.*, A121: 21–63.
- HALLAM A. 1969 — A pyritized limestone hardground in the Lower Jurassic of Dorset (England). *Sedimentology*, 12: 231–240.
- HESSELBO S.P. & PALMER T.J. 1992 — Reworked early diagenetic concretions and the bioerosional origin of a regional discontinuity within British Jurassic marine mudstones. *Sedimentology*, 39: 1045–1065.
- JIANG CH., ALEXANDER R., KAGI R.I. & MURRAY A.P. 2000 — Origin of perylene in ancient sediments and its geological significance. *Organic Geochemistry*, 31: 1545–1559.
- FREY R.W. & SEILACHER A. 1980 — Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, 13: 183–207.
- FREY R.W., PEMBERTON S.G. & SAUNDERS T.D.A. 1990 — Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Jour. Paleont.*, 64: 155–158.
- FÜRSICH F.T. 1979 — Genesis, environments, and ecology of Jurassic hardgrounds. *Neues Jahrb. Geol. Paläont., Abh.*, 158: 1–63.
- KAZMIERCZAK J. 1974 — Crustacean associated hiatus concretions and eogenetic cementation in the Upper Jurassic of central Poland. *Neues Jahrb. Geol. Paläont., Abh.*, 147: 329–342.
- KENNEDY W.J. & KLINGER H.C. 1972 — Hiatus concretions and hardground horizons in the Cretaceous of Zululand (South Africa). *Palaeontology*, 15: 539–549.
- KENNEDY W.J., LINDHOLM R.C., HELMOLD K.P. & HANCOCK J.M. 1977 — Genesis and diagenesis of hiatus- and breccia-concretions from the mid-Cretaceous of Texas and northern Mexico. *Sedimentology*, 24: 833–844.
- KOPIK J. 1998 — Jura dolna i środkowa północno-wschodniego obrzeżenia Górnoślaskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 378: 67–130.
- MAJEWSKI W. 2000 — Middle Jurassic concretions from Częstochowa (Poland) as indicators of sedimentation rates. *Acta Geol. Pol.*, 50: 431–439.
- MANGOLD C. & RIOULT M. 1998 — Bathonien. [In:] Cariou E. & Hantzpergue P. (eds.), *Biostratigraphie du Jurassiques ouest-européen et méditerranéen*. Bull. Cent. Rech. Elf Explor. Prod., Mém., 17: 55–62.
- MARYNOWSKI L., ROSPONDEK M.J., MEYER ZU RECKENDORF R. & SIMONEIT B.R.T. 2002 — Phenylidibenzofurans and phenylidibenzothiophenes in marine sedimentary rocks and hydrothermal petroleum. *Organic Geochemistry*, 33: 701–714.
- MATYJA B.A. & WIERZBOWSKI A. 2000 — Ammonites and stratigraphy of the uppermost Bajocian and Lower Bathonian between Częstochowa and Wieluń, Central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 50: 191–209.
- OTTO A. & SIMONEIT B.R.T. 2001 — Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz formation, Saxony, Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 3505–3527.
- PALMER T.J. & WILSON M.A. 2004 — Calcite precipitation and dissolution of biogenic aragonite in shallow Ordovician calcite seas. *Lethaia*, 37: 417–427.
- POULSEN N.S. 1998 — Upper Bajocian to Callovian (Jurassic) dinoflagellate cysts from central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 48: 237–245.
- RADWAŃSKI A. 1970 — Dependence of rock-borers and burrowers on the environmental conditions within the Tortonian littoral zone of Southern Poland. [In:] Crimes T.P. & Harper J.C. (eds.), *Trace Fossils. Geol. Jour. Spec. Iss.*, 3: 371–390.
- RAISWELL R. 1987 — Non-steady state microbiological diagenesis and the origin of concretions and nodular limestones. [In:] Marshall J.D. (ed.), *Diagenesis of sedimentary sequences*. Geol. Soc. Spec. Publ., 36: 41–54.
- SAVRDA C.E. 1995 — Ichnologic applications in palaeoceanographic, palaeoclimatic, and sea-level studies. *Palaaios*, 10: 565–577.
- SAVRDA C.E. & BOTTJER D.J. 1988 — Limestone concretion growth documented by trace-fossil relations. *Geology*, 16: 908–911.
- TAPANILA L., ROBERTS E.M., BOUARÉ M.L., SISSOKO F. & O'LEARY M.A. 2004 — Bivalve borings in phosphatic coprolites and bone, Cretaceous-Paleogene, Northeastern Mali. *Palaaios*, 19: 565–573.
- TAYLOR P.D. & WILSON M.A. 2002 — A new terminology for marine organisms inhabiting hard substrates. *Palaaios*, 17: 522–525.
- TAYLOR P.D. & WILSON M.A. 2003 — Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities. *Earth-Sc. Rev.*, 62: 1–103.
- VOIGT E. 1968 — Über-Hiatus-Konkretion (dargestellt am Beispielen aus dem Lias): *Geol. Rundschau*, 58: 281–296.
- WETZEL A. & ALLIA V. 2000 — The significance of hiatus beds in shallow-water mudstones: an example from the Middle Jurassic of Switzerland. *Jour. Sedim. Res.*, 70: 170–180.
- WILSON M.A. 1986 — Coelobites and spatial refuges in a lower Cretaceous cobble-dwelling hardground fauna. *Palaeontology*, 29: 691–703.
- WILSON M.A. 1987 — Ecological dynamics on pebbles, cobbles, and boulders. *Palaaios*, 2: 594–599.
- WILSON M.A. & TAYLOR P.D. 2001 — Palaeoecology of hard substrate faunas from the Cretaceous Quahlah Formation of the Oman Mountains. *Palaeontology*, 44: 21–41.
- ZATON M. & MARYNOWSKI L. 2004 — Konzentrat-Lagerstätte — type carbonate concretions from the uppermost Bajocian (Middle Jurassic) of the Częstochowa area, South-Central Poland. *Geol. Quart.*, 48: 339–350.