

Aberrantne rozgwiazdy z rodzaju *Sphaeraster* Quenstedt, 1875, w profilu oksfordu Wapienno/Bielawy na Kujawach

Urszula RADWAŃSKA

Instytut Geologii Podstawowej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirkkii Wigury 93, 02-089 Warszawa;
e-mail: ularadw@geo.uw.edu.pl

WSTĘP

Rozgwiazdy to zwierzęta od 1 cm do 1 m wielkości, żyjące wyłącznie na dnie mórz. Występują na rozmaitych głębokościach jak i szerokościach geograficznych. Większość gatunków spotykana jest jednak u wybrzeży, na obszarach równi pływowych, na dnie porośniętym trawami morskimi, na skalistym wybrzeżu, na dnie piaszczystym, a także na rafach koralowych. Kilka gatunków znanych jest z dużych głębokości, poniżej 9,100 m (Hendler i in. 1995). Zwierzęta te obecnie zwykle występują w dużych nagromadzeniach, stąd też należą do jednych z najbardziej pospolitych przedstawicieli fauny morskiej.

BUDOWA OGÓLNA

W ciele rozgwiazdy (fig. 1) wyróżniamy części promieniowe (R) oraz międzypromieniowe (IR), po środku ciała części te zrastają się tworząc dysk centralny. Od dysku symetrycznie odchodzą ramiona, stanowiące przedłużenie części promieniowych. Typowa rozgwiazda ma 5 ramion, lecz znane są też gatunki mające do 50-ciu ramion, a także nieliczne pozbawione ich całkowicie i wtedy zarys ciała staje się sferyczny.

Ciało rozgwiazdy z zewnątrz pokryte jest pancerzem, który składa się z kalcytowych płytek (każda z płytek stanowi jeden monokryształ kalcytu). Kalcyt budujący płytki ma charakter trójwymiarowej sieci zwanej stereomem. Płytki te rozwijają się w tkance łącznej skóry i połączone są mięśniami jak i ścięgnami, lecz nie są zrośnięte ze sobą zbyt mocno, tak, że rozgwiazda może wyginać i rozciągać swe

ciało w różnych kierunkach. Dzięki specyficznym cechom połączeń płytek pancerza rozgwiazdom udało się pogodzić dwie skrajne cechy: sztywność pancerza z możliwością jego wyginania.

Liczne płytki budujące szkielet (fig. 1) obdarzane są określonymi nazwami w zależności od położenia w ciele. Płytki marginalne to zwykle większe płytki ułożone w dwa szeregi, obramowujące krawędzie ciała, przy czym tzw. supramarginalne stanowią górny szereg, zaś inframarginalne dolny. Abaktinalia to płytki położone powyżej marginaliów, zatem leżące na aboralnej (górnej powierzchni) ciała. Aktinalia to płytki leżące pomiędzy marginaliami a bruzdą ambulakralną, wykształcone zatem na oralnej (dolnej powierzchni) ciała. Płytki ambulakralne występują w postaci dwóch płytek zestawionych w kształcie odwróconej litery V obudowujących bruzdę ambulakralną. Na końcu każdego ramienia znajduje się pojedyncza płytka terminalna wieńcząca ramię. Otwór ustny otoczony jest zespołem płytek oralnych.

Na stronie oralnej, wzdłuż każdego ramienia przebiega bruzda ambulakralna. W obrębie bruzdy występują po dwa szeregi nóżek ambulakralnych, stanowiących integralną część układu wodnego i tak jak u jeżowców, mogą być wykorzystywane do poruszania się, zagrzebywania, zdobywania pokarmu, a u niektórych gatunków mogą brać udział w procesie oddychania. Otwór gębowy położony jest centralnie na stronie oralnej dysku, nie jest zaopatrzony w dodatkowy aparat szczękowy i prowadzi do przełyku, rozszerzającego się następnie w żołądek. Żołądek rozgwiazd spośród wszystkich szkarłupni jest stosunkowo najlepiej rozwinięty i może być wysuwany poprzez otwór gębowy na zewnątrz ciała.

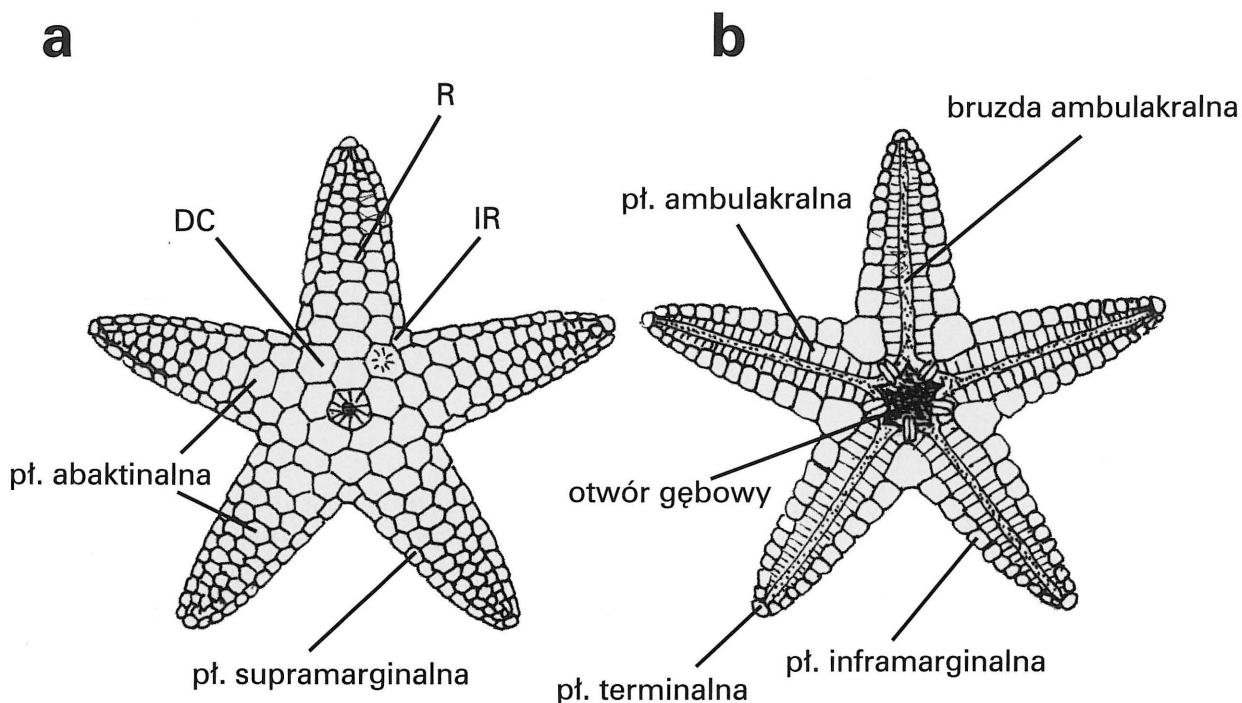


Fig. 1. Schemat budowy szkieletu rosgwiazdy (adoptowane z: Ziegler 1998): a — strona aboralna: DC — dysk centralny, R — część promieniowa, IR — część międzypromieniowa; b — strona oralna.

BIOLOGIA

Rozgwiazdy spośród wszystkich szkarłupni wyróżniają się szerokim wachlarzem sposobów zdobywania pokarmu. Gatunki drapieżne, stanowiące zdecydowaną większość, atakują gąbki, korale, małże, ślimaki, kraby, krewetki, wieloszczety, małe ryby, a także inne szkarłupnie; kilka gatunków przejawia kanibalizm. Inne są trupożerne, odżywiające się rozkładającymi się rybami i bezkręgowcami. Pewna grupa jest mułozerna, wypełniająca żołądek osadem i wybierająca z niego drobne mikroorganizmy i wszelką materię organiczną. Nieliczne są zawiesinożercami, przecedzającymi wodę w poszukiwaniu pokarmu. Metoda pobierania pokarmu też może być bardzo zróżnicowana. Niektóre rosgwiazdy połykają w całości swoją ofiarę, nie wynicowując swego żołądka na zewnątrz, jednocześnie bardzo silnie rozciągając dysk centralny, czasami doprowadzając do jego rozerwania (Hendler i in. 1995). Rozgwiazdy wynicowujące żołądek na zewnątrz, mają zdecydowanie bogatsze menu. W przypadku ataku na mięczaki typu ostrygi czy omułki, rosgwiazda otacza ramionami swoją ofiarę, przysysa się nóżkami ambulakralnymi do skorupki, unosi

na ramionach i jednocześnie rozwiera skorupki małża. Przez niewielką szczelinę między skorupkami zapuszcza żołądek do wnętrza paraliżując ofiarę i wstępnie trawiąc. W innych przypadkach, np. ataku na jeżowce, rosgwiazda wynicowuje żołądek na zewnątrz i połyka ofiarę w całości, wstępnie trawi i po zmniejszeniu objętości wciąga do wnętrza ciała, aby tam dokończyć proces trawienia.

ROSGWIAZDY KOPALNE

Rozgwiazdy pojawiły się we wczesnym ordowiku, lecz w paleozoiku nie były jeszcze licznie reprezentowane, a dopiero od późnego mezozoiku można zaobserwować wyraźny rozwój tej grupy, tak że obecnie stanowi ona jedną z liczniejszych gromad szkarłupni. Budowa szkieletu rosgwiazd, zwłaszcza elastyczny sposób połączeń między płytkami za pomocą mięśni i ścięgien, wpływa na ich niski potencjał fosylizacyjny. Po śmierci rosgwiazdy szkielet jej ulaga szybkiemu rozpadowi na poszczególne płytki, zaś do rzadkości w materiale kopalnym należą okazy zachowane kompletnie, co jest z reguły efektem szczególnych warunków pogrzebania np. *in vivo*,

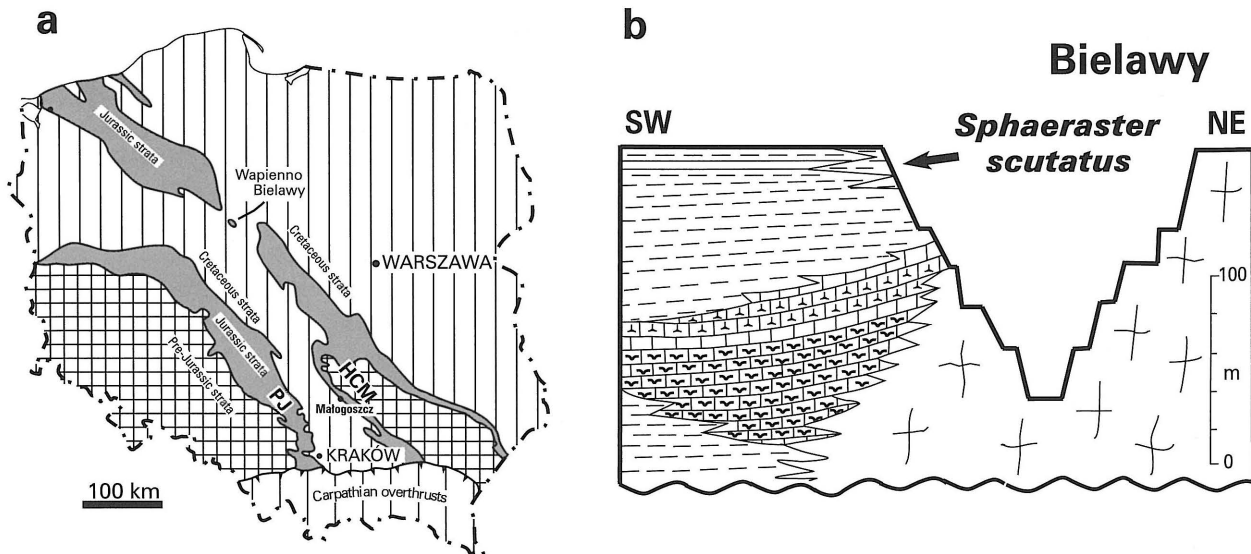


Fig. 2. a — sytuacja profilu Wapienno/Bielawy w antyklinie Zalesia na Kujawach, na tle mapy geologicznej Polski (adoptowane z: Matyja i Wierzbowski 2002, fig. 1); b — schemat rozprzestrzenienia facji oksfordu odsłaniających się w profilu kamieniołomu Bielawy, ze wskazaniem (strzałka) sekwencji zawierającej liczne szczątki *Sphaeraster scutatus* (Goldfuss, 1829) (adoptowane z: Matyja, Merta i Wierzbowski 1985, fig. 4, oraz Radwańska 2004, fig. 3).

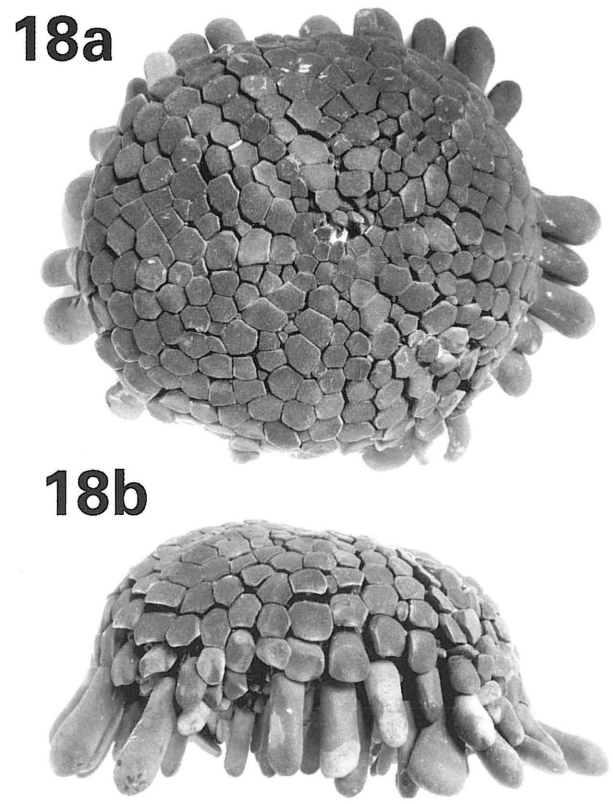
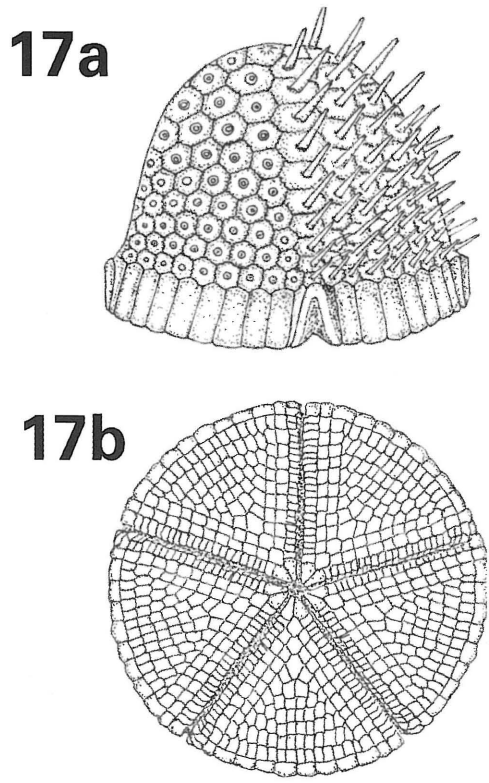
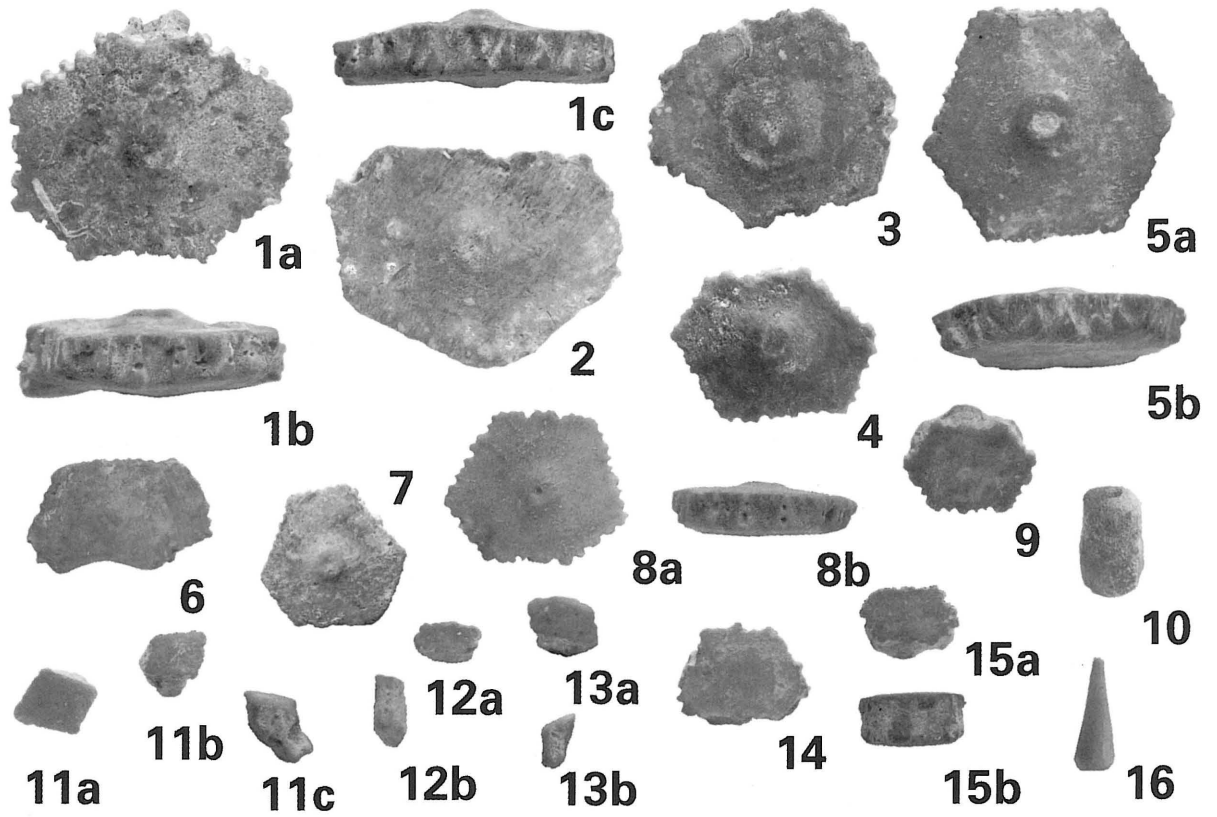
jak okazy *Astropecten navodicensis* Nosowska, 1997, z miocenijskich piasków w Nawodzicach (Bałuk i Radwański 1968; Nosowska 1997).

Z osadów jurajskich epikontynentalnych obszarów Polski rozgwiazdy znane są wyłącznie z izolowanych płytek. Wśród nich zwracają uwagę płytki aberrantnego rodzaju *Sphaeraster* Quenstedt, 1875, rozpoznawane u nas już od dawna (Roemer 1870; Siemiradzki 1893), choć zaledwie jako pojedyncze okazy. W tym kontekście przedmiotem zainteresowania autorki stało się dość częste, a miejscami nawet bardzo liczne występowanie płytek tych rozgwiazd w profilach kamieniołomów Wapienno i Bielawy w antyklinie Zalesia na Kujawach. Profile te obejmują odcinek czasowy zon Bimammatum i Planula górnego oksfordu, szczegółowo ostatnio udokumentowany fauną amonitową (Matyja i Wierzbowski 2002). Zebrany materiał pochodzi ze środkowej części profilu Wapienno oraz z wyższej części profilu Bielawy (fig. 2), reprezentujących fację skłonu biohermy z kompleksu B3+B4 (Matyja, Merta i Wierzbowski 1985), a napotkany został jako element towarzyszący badanej przez autorkę faunie jeżowcowej (Radwańska 2000, 2003) i wieloszczetowej (Radwańska 2004). Spośród rozmaitych typów płytek (pl. 1, fig. 1-15) budujących szkielet, w badanym materiale zanotować można płytki abaktinalne (pl. 1, fig. 1-9), płytki aktinalne (pl. 1, fig. 11-15),

jedną płytkę supramarginalną (pl. 1, fig. 10), oraz jeden kolec (pl. 1, fig. 16). Płytki te, ze względu na obecność centralnie położonej brodawki na kolecku oraz brak ornamentacji zaliczone zostały do gatunku *Sphaeraster scutatus* (Goldfuss, 1829).

Gatunek ten jak i pozostałe (Schöndorf 1906; Hess 1975) zaliczane do rodzaju *Sphaeraster* Quenstedt, 1875, budową szkieletu (pl. 1, fig. 17a-17b) znacznie odbiegają od schematu pięcioramiennej rozgwiazdy tak powszechnie realizowanego u dzisiejszych gatunków. Ogólny wygląd szkieletu oraz układ płytek zostały zrekonstruowane przez Schöndorfa (1906, pl. 25, fig. 1-2) na podstawie zachowanych większych fragmentów pancerza oraz izolowanych płytek. Rekonstrukcja ta unaocniła również aberrantny kształt pancerza tych rozgwiazd. W budowie szkieletu (pl. 1, fig. 17a-17b) szczególną uwagę zwraca mocno wysklepiona, kopolowata strona aboralna oraz brak wyodrębnionych ramion, tak charakterystycznych dla większości rozgwiazd. Sferyczny wygląd tej rozgwiazdy, bardziej przypominającej swym kształtem jeżowca, od dawna intrygował badaczy.

Blake (1984) przedstawił szczegółową analizę funkcjonalną pancerza rozgwiazd z rodzaju *Sphaeraster* oraz wynikające z niej wnioski ekologiczne, które w skrócie przedstawiono poniżej.



FUNKCJA ABORALNEJ STRONY PANCERZA *SPHAERASTER*

Strona aboralna pancerza zabudowana jest płytkami abaktinalnymi. Płytki te mają wielokątny zarys, z reguły sześciokątny, zaś na przekroju poprzecznym są lekko łukowato wygięte ku górze; niektóre płytki są płaskie. Na powierzchni zewnętrznej w centralnej części, usytuowana jest płaska brodawka na kolec, pozostała powierzchnia jest gładka (pl. 1, fig. 1a, 2-4, 5a, 6-7, 8a). Powierzchnie boczne płytek pokryte są systemem bruzd i grzbietów (pl. 1, fig. 1b-1c, 5b, 8b), tak że w efekcie krawędzie płytek mają często mocno karbowany zarys (pl. 1, fig. 1a, 3, 4, 8a). Płytki abaktinalne ułożone są mozaikowo, a cały układ przypomina plaster miodu (pl. 1, fig. 17a). Wysokość pancerza *Sphaeraster scutatus* oszacowana została (Schöndorf 1906) na 15-20 cm przy średnicy 25 cm u podstawy.

Głównym zadaniem szkieletu jest podtrzymywanie ciała, ale także ochrona przed drapieżnikami lub uderzeniami okruchów wzniesionych przez silne falowanie.

Obecność pojedynczej brodawki na każdej płytce abaktinalnej świadczy o tym, że pancerz *Sphaeraster* pokryty był dość luźno rozmieszczonymi kolcami (pl. 1, fig. 17a). Budowa brodawki jak i podstawy kolca (pl. 1, fig. 1a, 5a, 7) wskazują, że kolce te były osadzone na pancerzu sztywno, bez możliwości wykonywania ruchu. Brak jest bowiem charakterystycznych zagłębień dla przyczepów mięśni i ścięgien umożliwiających ruch. Główną funkcją kolców była obrona przed drapieżnikami, a także stanowiły one zabezpieczenie przed spadającymi na pancerz okruchami. Budowa stereomu kolców, wykazuje obecność podłużnych stref, które ułatwiały przenoszenie siły nacisku na brodawkę, a dalej po powierzchniach kolejnych płytek, aż do samego podłoża.

Wypukły charakter aboralnej strony pancerza to kolejna cecha o charakterze ochronnym. Mocno wysklepiony pancerz powoduje, że poszczególne jego płytki funkcjonują jak słupki podpierające całą konstrukcję. Dzięki temu siła uderzenia spadającego okrucha może być przekazywana wzdłuż płytek, aż do podłoża, a jednocześnie mięśnie i ścięgna łączące płytki w mniejszym stopniu podlegają naciskowi.

Przekrój poprzeczny płytek jest ściśle związany z ogólnym kształtem pancerza. Płytki o łukowatym wygięciu budowały górną powierzchnię pancerza, zaś płaskie usytuowane były blisko dolnej części kopuły, gdzie krzywizna jest najmniejsza. Łukowate wykrzywienie płytek jak również ich mozaikowy układ przyczyniał się do ogólnego wzmocnienia całej konstrukcji ściany pancerza.

Płytki abaktinalne są stosunkowo cienkie, brak jest również dowodów na to, aby warstwa skóry pokrywającej je za życia rozgwiazdy była szczególnie pogrubiona. Cechy te wskazywać mogłyby na kruchość pancerza i podatność na uszkodzenia. Analiza bocznych powierzchni płytek wskazuje, że były one połączone systemem niezbyt rozbudowanych mięśni i ścięgien zbudowanych z włókien kolagenowych wnikających w porowatą strukturę stereomu. Kolagen u bezkręgowców jest materiałem stosunkowo mało elastycznym a jednocześnie silnie wiążącym. Taki typ połączeń między płytkami oraz brak śladów zrostów płytek oraz obecności wyrostków mogących dodatkowo spajać płytki, powodował, że cała górna powierzchnia pancerza była stosunkowo elastyczna. Cecha ta pozwalała na ugięcie pancerza pod wpływem uderzenia, a także na szybki powrót do pierwotnego kształtu. Obrót między płytkami możliwy był dzięki obecności grzbietów i bruzd na ich bocznych powierzchniach, które działały na zasadzie zawiasów. Ruch ten był częściowo ograniczony elastycznością kolagenu, a także ciasnym upakowaniem płytek w pancerzu. Ostatecznie płytki mogły się odchylić w granicach do 16° od pierwotnego położenia tak, aby nie uszkodzić trwale połączeń (Blake 1984). Zagłębienia na grzbietach płytek (pl. 1, fig. 1b-1c) służyły do przyczepu mięśni, które umożliwiały powrót do pierwotnego kształtu.

FUNKCJA POZOSTAŁYCH CZĘŚCI PANCERZA *SPHAERASTER*

Obserwując pancerz *Sphaeraster* z boku (pl. 1, fig. 17a) wyraźnie widać u podstawy okółek dużych płytek supramarginalnych. Płytki te mają wydłużony kształt (pl. 1, fig. 10), a wydatne bruzdy i grzbiety na ich wewnętrznej powierzchni świadczą o obecności dobrze rozwiniętych ścięgien i mięśni,

PLANSZA 1

1-16 — *Sphaeraster scutatus* (Goldfuss, 1829) z profilu Wapienno/Bielawy, wszystkie okazy pow. x2: 1-9 — płytki abaktinalne, 10 — płytka supramarginalna, 11-15 — płytki aktinalne, 16 — kolec; 17a-17b — rekonstrukcja (w oparciu o: Schöndorf 1906, pl. 25, fig. 1-2) pancerza *Sphaeraster scutatus* (Goldfuss, 1829) żyjącego w późnym oksfordzie na obszarze biohermy Wapienna/Bielaw; 18a-18b — materiał porównawczy: pancerz dzisiejszego jeżowca *Colobocentrotus atratus* (Linnaeus, 1758) z wybrzeży Filipin; wielkość naturalna. Fot. U. Radwańska.

a w konsekwencji sporej mobilności tych płytek. Układ płytek supramarginalnych jest bardzo zbliżony do układu marginalnych kolców u dzisiejszego jeżowca *Colobocentrotus* (pl. 1, fig. 18a-18b) zamieszkującego środowisko o wysokiej dynamice wód. Kolce tego jeżowca, jak i płytki supramarginalne u *Sphaeraster* dzięki swemu układowi i połączeniom mięśniowo-ścięgowym, mają zadanie amortyzujące, aby przechwycić energię spowodowaną uderzeniem i przekazywać ją dalej na podłoże.

Pozostałe elementy to płytki aktinalne oraz ambulakralne ułożone po stronie oralnej. Płytki te (pl. 1, fig. 11-15) mają płaską powierzchnię zewnętrzną i są stosunkowo grube. Powierzchnia od strony oralnej (pl. 1, fig. 17b) jest ciasno nimi wybrukowana i bierze finalny udział w przechwytywaniu i przekazywaniu energii na podłoże.

Powyższa analiza wskazuje, że cała konstrukcja pancerza *Sphaeraster* była podporządkowana ochronie przed uderzającymi okruciami oraz amortyzacji tych uderzeń.

BIOLOGIA

W budowie pancerza największe analogie do *Sphaeraster* wykazują wśród fauny dzisiejszej przedstawiciele rodziny Oreasteridae. Z reguły są to duże rozgwiazdy, wiele pokrytych jest sztywnymi kolcami, a niektóre z nich pozbawione ramion, np. *Culcita* oraz *Halityle*. Wszystkie zamieszkują wody płytkie, na obszarze lub w pobliżu raf. Rozgwiazdy z rodzaju *Sphaeraster* zasiedlały także zapewne środowisko płytkomorskie, o wysokiej dynamice. Prowadziły epifaunalny tryb życia, na co wskazuje mocno wysklepiony pancerz uzbrojony w sztywno umocowane kolce, utrudniający wszelkie próby rycia lub zagrzebywania. Płaska podstawa pancerza, brak ramion oraz wąskie bruzdy ambulakralne wpływające na znaczne ograniczenie liczby nóżek ambulakralnych, wykluczały możliwość drapieżniczego sposobu odżywiania, a także zdolność wspinania się np. na gąbki lub koralowce. Prawdopodobnie rozgwiazda ta za pomocą nóżek gromadziła w okolicy otworu gębowego osad bogaty w materię organiczną, i być może wycinując żołądek, połykała zgromadzony tam pokarm.

Podsumowując, zarówno analiza funkcjonalna przedstawiona przez Blake'a (1984) dla rodzaju *Sphaeraster* i jego dzisiejszych analogów, jak i własne obserwacje autorki w profilu Wapienno/Bielawy, pozwalają z dużym prawdopodobieństwem uważać

omawiane aberrantne rozgwiazdy za idealnie przystosowane do warunków życia w płytko- lub ekstremalnie płytkomorskim środowisku na mobilnych obrzeżach biohermy, rozpoznanych na podstawie analizy innych grup faunistycznych (Matyja, Merta i Wierzbowski 1985; Radwańska i Radwański 2003; Radwańska 2004). Szczególnie istotnym jest, że w środowisku tym dochodziło często do wezbrań typu sztormowego i uruchamiania ruchów masowych na zboczach biohermy, w wyniku czego znaczne ilości materiału były przemieszczane z płycizn w strefy głębsze. Prowadziło to oczywiście do dezintegracji pancerzy i roznoszenia ich tak, że w badanych osadach izolowane płytki *Sphaeraster* stawały się materiałem allochtonicznym. Środowisko życia *Sphaeraster* należy usytuować w wyższych partiach biohermy Wapienna/Bielaw. Specyficzne wykształcenie pancerza i jego aberrantna postać stanowiły tutaj idealne przystosowanie umożliwiające przetrwanie, nawet w partiach środowiska mało sprzyjających rozwojowi innych organizmów, a także kolonizowanie obszarów dna dotąd nie zasiedlanych. Takimi to przyczynami tłumaczyć należy fakt bardzo licznego występowania szczątków *Sphaeraster* w tylko niektórych interwałach profilu Wapienna, a zwłaszcza Bielaw.

LITERATURA

- Bałuk, W. i Radwański, A. 1968. Lower Tortonian sands at Nawodzice, southern slopes of the Holy Cross Mts., their fauna and facies development. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 18 (2), 447-471.
- Blake, D. B. 1984. Constructional morphology and life habits of the Jurassic sea star *Sphaeraster* Quenstedt. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, Vol. 169 (1), 74-101.
- Hendler, G., Miller, J. E., Pawson, D. L. i Kier, P. M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press, 1-390. Washington and London.
- Hess, H. 1975. Die fossilen Echinodermen des Schweizer Juras. *Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum Basel*, Vol. 8, 5-130.
- Matyja, B. A., Merta, T. i Wierzbowski, A. 1985 (internal circular). Stratygrafia i litologia utworów jurajskich struktury Zalesia. W: Utwory jurajskie struktury Zalesia na Kujawach i ich znaczenie surowcowe, 19-29. Warszawa.

- Matyja, B. A. i Wierzbowski, A. 2002. Boreal and Subboreal ammonites in the Submediterranean uppermost Oxfordian in the Bielawy section (northern Poland) and their correlation value. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 52 (4), 411-421.
- Nosowska, E. 1997. Asteroids from the Nawodzice Sands (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*, Vol. 47 (3/4), 225-241.
- Radwańska, U. 2000 (internal circular). Analiza funkcjonalna pancerza jeżowca regularnego *Rhabdocidaris nobilis* (Münster, 1826) i jej znaczenie paleoekologiczne. W: *Jurassica 2000*, 22. Wiktorowo.
- Radwańska, U. 2003. A monograph of the Polish Oxfordian echinoids; Part 1, Subclass Cidaroida Claus, 1880. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 53 (2), 143-165.
- Radwańska, U. 2004. Tube-dwelling polychaetes from the Upper Oxfordian sequence of Wapienno/Bielawy, Couiavia region, north-central Poland. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 54 (złożone do druku).
- Radwańska, U. i Radwański, A. 2003. An enigma of the Jurassic crinoid genus *Cyclocrinus* d'Orbigny, 1850. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 53 (złożone do druku).
- Roemer, F. 1870. *Geologie von Oberschlesien*. Breslau [Wrocław].
- Schöndorf, F. 1906. Die Organisation und systematische Stellung der Sphaeriten. *Archiv für Biontologie, Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin*, Vol. 1, 251-305.
- Siemiradzki, J. von 1893. Der obere Jura in Polen und seine Fauna; II. Gastropoden, Bivalven, Brachiopoden und Echinodermen. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, Vol. 45, 103-144.
- Ziegler, B. 1998. Einführung in die Paläobiologie Teil 3, Spezielle Paläontologie, Würmer, Arthropoden, Lophophoraten, Echinodermen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1-666. Stuttgart.

