

Cysty Dinoflagellata z górnego kampanu i najniższego mastrychtu (górna kreda) profilu środkowej Wisły – stratygrafia i paleoekologia

Mariusz Niechwedowicz¹



Dinoflagellate cysts from the upper Campanian–lowermost Maastrichtian (Upper Cretaceous) of the Middle Vistula River section: stratigraphy and palaeoecology. *Prz. Geol.*, 70: 751–760; doi: 10.7306/2022.28

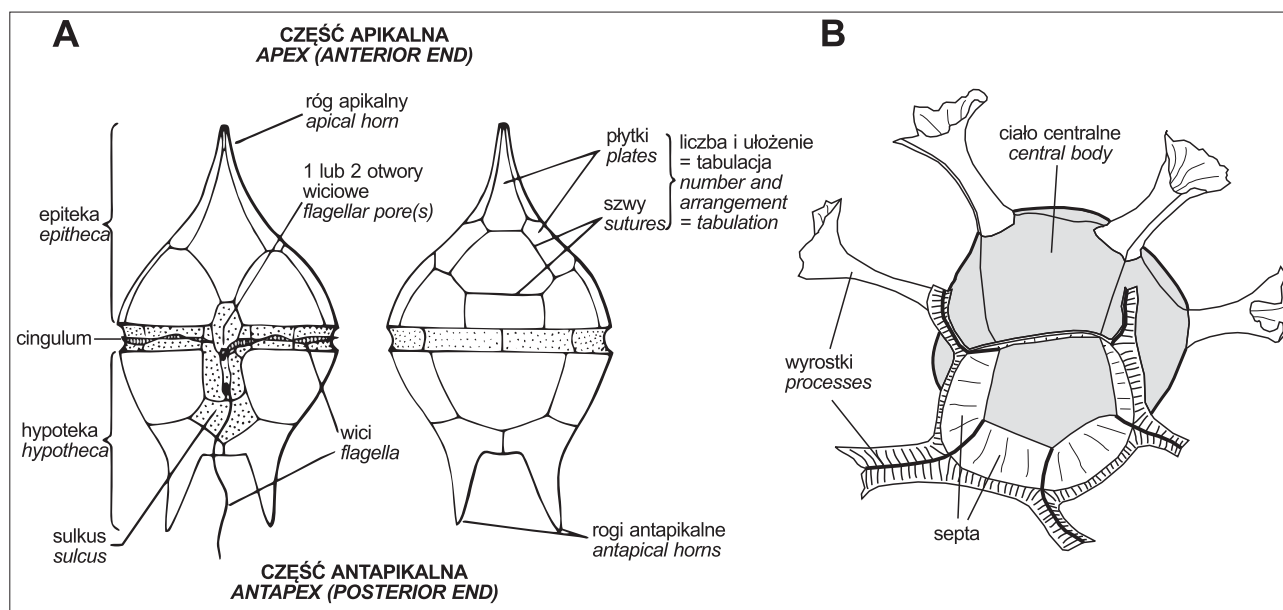
A b s t r a c t. Among the rich dinoflagellate cyst assemblages recovered from the upper Campanian–lowermost Maastrichtian succession of the Middle Vistula River section (central Poland), four taxa (*Calliosphaeridium bicornatum*, *Odontochitina dilatata*, *Oligosphaeridium araneum* and *Samlandia paucitabulata*) have been described as new. An analysis of the distribution of particular dinoflagellate cyst taxa enabled the development of a highly resolved biostratigraphic framework, calibrated against other biozonal schemes (based, among others, on inoceramid bivalves, ammonites and belemnites), formerly established for the succession. A comparison of the Middle Vistula River record with the dinoflagellate cyst ranges documented in other European successions enabled correlations with selected sections in Belgium, the Netherlands, southern Germany and northern Italy, and with the Campanian/Maastrichtian boundary stratotype section in Tercis les Bains, southwest France. A palaeoecological analysis of the dinoflagellate cyst assemblages and of other components of phytoplankton communities revealed a well-defined trend in sea-level fluctuations (likely of eustatic origin), and palaeoclimatic changes probably related to the latest Cretaceous cooling episode, as observed elsewhere.

Keywords: dinoflagellate cysts, taxonomy, biostratigraphy, palaeoecology, sea-level changes, cooling, Campanian/Maastrichtian boundary, Upper Cretaceous, Middle Vistula River section, Poland

Dinoflagellata (brudnice; ryc. 1) są jednokomórkowymi mikroorganizmami (przeciętny rozmiar w zakresie 30–150 µm) zasiedlającymi zbiorniki morskie (choć znane są też formy brakiczne i słodkowodne), stanowiącymi jeden z najistotniejszych składników fitoplanktonu morskiego (np. Gedl, 1995). Jedno ze stadiów w cyklu rozwojowym brudnic stanowią formy przetrwalnikowe (tzw. organiczne cysty brudnic; ang. *organic-walled dinoflagellate cysts*), charakteryzujące się wysokim potencjałem fosylizacyjnym. Cysty brudnic, ze względu na bogaty zapis kopalny grupy (środkowy trias–holocen; np. Gedl,

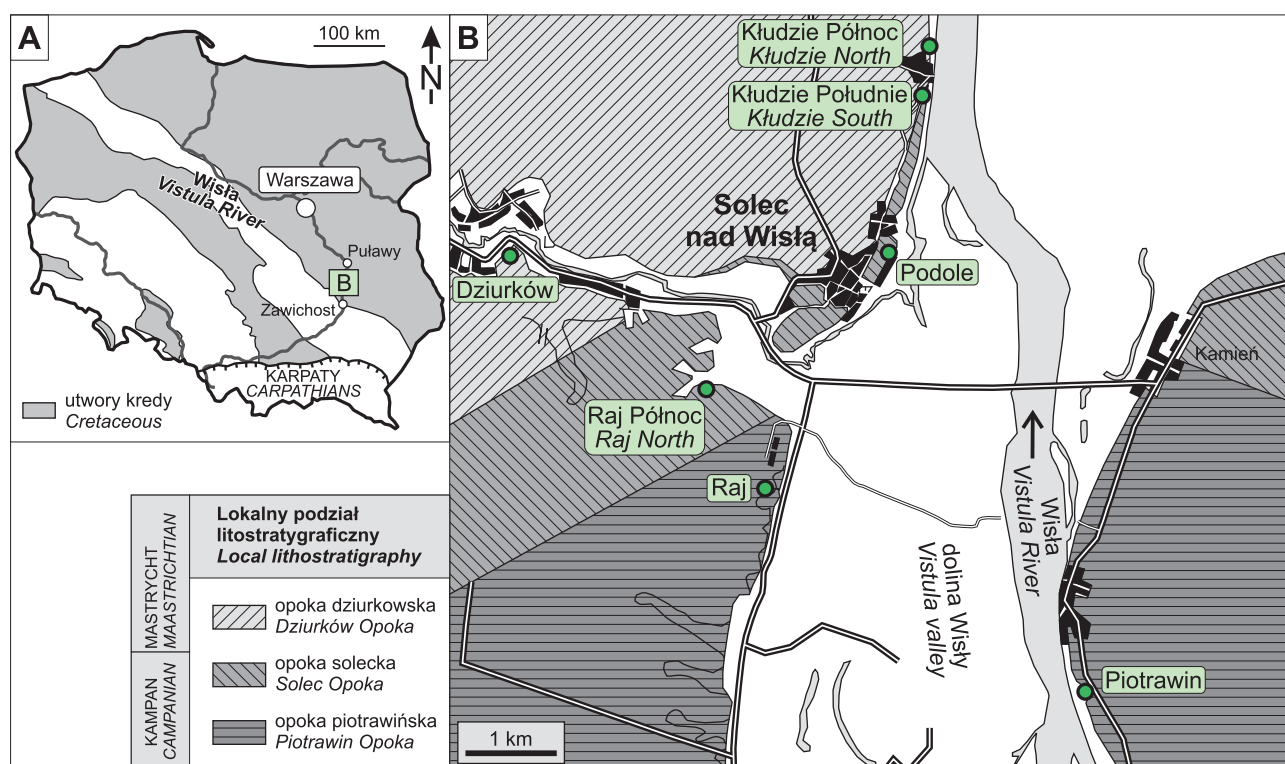
1995), a zwłaszcza bogactwo taksonomiczne, relatywnie wysokie tempo przemian ewolucyjnych na poziomie gatunku oraz specyficzne preferencje (paleo)ekologiczne wybranych form, są powszechnie wykorzystywane w badaniach biostratygraficznych (np. Kirsch, 1991; Roncaglia, Corradini, 1997; Antonescu i in., 2001; Slimani, 2001) i paleośrodowiskowych (np. Kirsch, 1991; Jaminski, 1995; Nøhr-Hansen i in., 2016).

Celem badań była analiza zespołów cyst Dinoflagellata pochodzących z utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły (centralna Polska),



Ryc. 1. A – Główne cechy teki brudnic (wg Evitta, 1985). **B** – Wybrane cechy morfologiczne niektórych cyst brudnic
Fig. 1. A – Principal features of the theca in dinoflagellates (after Evitt, 1985). **B** – Selected morphological features of some dinoflagellate cysts

¹ Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02–089 Warszawa; niechwedowicz.m@uw.edu.pl; ORCID ID: 0000-0002-1967-2945



Ryc. 2. A – Lokalizacja profilu środkowej Wisły w Polsce (uproszczona mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoicznych wg Pożaryskiego, 1974). **B** – Mapa geologiczna utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły (wg Walaszczyka, 2004; zmodyfikowana) z lokalizacją badanych profili

Fig. 2. A – Location of the Middle Vistula River section in Poland (simplified geological map of Poland without Cenozoic cover after Pożaryski, 1974). **B** – Geological map of the upper Campanian–lowermost Maastrichtian part of the Middle Vistula River section (modified after Walaszczyk, 2004), with locations of the sections studied

oraz ich interpretacja taksonomiczna, biostratygraficzna i paleoekologiczna (brudnice z tego obszaru nie były dotychczas badane). Wyniki tych prac badawczych zostały opublikowane w czterech artykułach naukowych (Niechwedowicz, 2018, 2021; Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021; Niechwedowicz i in., 2021), a niniejsze opracowanie stanowi ich syntezę, będącą fragmentem rozprawy doktorskiej autora.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Profil środkowej Wisły jest złożony – składa się z serii naturalnych i sztucznych odsłoneń ulokowanych wzdłuż przełomowego odcinka Wisły pomiędzy Zawichostem i Puławami (ryc. 2). Utwory kredowe tego obszaru, reprezentujące interwał środkowy alb–mastrycht, mają budowę monoklinalną, z łagodnym upadem ku NE, nie przekraczającym 10° (Walaszczyk, 2004, 2012). Strukturalnie obszar ten stanowi NE skrzydło segmentu szydlowieckiego antyklinorium śródpolskiego (Żelaźniewicz i in., 2011). Paleogeograficznie obszar ten należał do późnokredowego, epikontynentalnego basenu środkowopolskiego (np. Niechwedowicz i in., 2021).

Utwory górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły odsłaniają się w okolicach miasteczka Solec nad Wisłą (Walaszczyk, 2004; ryc. 2). Badana sukcesja jest litologicznie bardzo monotonna, wykształcona głównie w postaci opok, podzielonych przez Walaszczyka (2004) na trzy nieformalne jednostki litostratigraficzne: opoka piotrawińska, opoka solecka i opoka

dziurkowska (ryc. 2, 3). Jedynym elementem sukcesji, ułatwiającym korelację litostratigraficzną pomiędzy poszczególnymi odsłoneńcami, jest horyzont marglisty, tzw. margiel graniczny, zawdzięczający swą nazwę jego położeniu na granicy opok soleckiej i dziurkowskiej (Walaszczyk, 2012; ryc. 3). Pomimo wyraźnej monotonii litofacji utwory te są bogate w makro- (m.in. amonity, belemnity, małże inoceramowe, gąbki) i mikroskamieniałości (cysty brudnic, nanoplankton wapienny, otwornice; Walaszczyk, 2012), co umożliwia ich precyzyjną chronostratyfografię opartą na danych biostratygraficznych (np. Walaszczyk, 2004; Machalski, 2012; Remin, 2012, 2015; Walaszczyk i in., 2016; patrz ryc. 3). Szczegółowy, historyczny przegląd badań stratygraficznych w profilu środkowej Wisły opracowali Walaszczyk (2004, 2012) oraz Walaszczyk i in. (2016). Badania profilu środkowej Wisły prowadzili i cennych danych paleośrodowiskowych dostarczyli także np. Abdel-Gawad (1986), Świerczewska-Gładysz (2006, 2012), Dubicka i Peryt (2012) oraz Machalski i Malchuk (2019).

MATERIAŁ I METODY

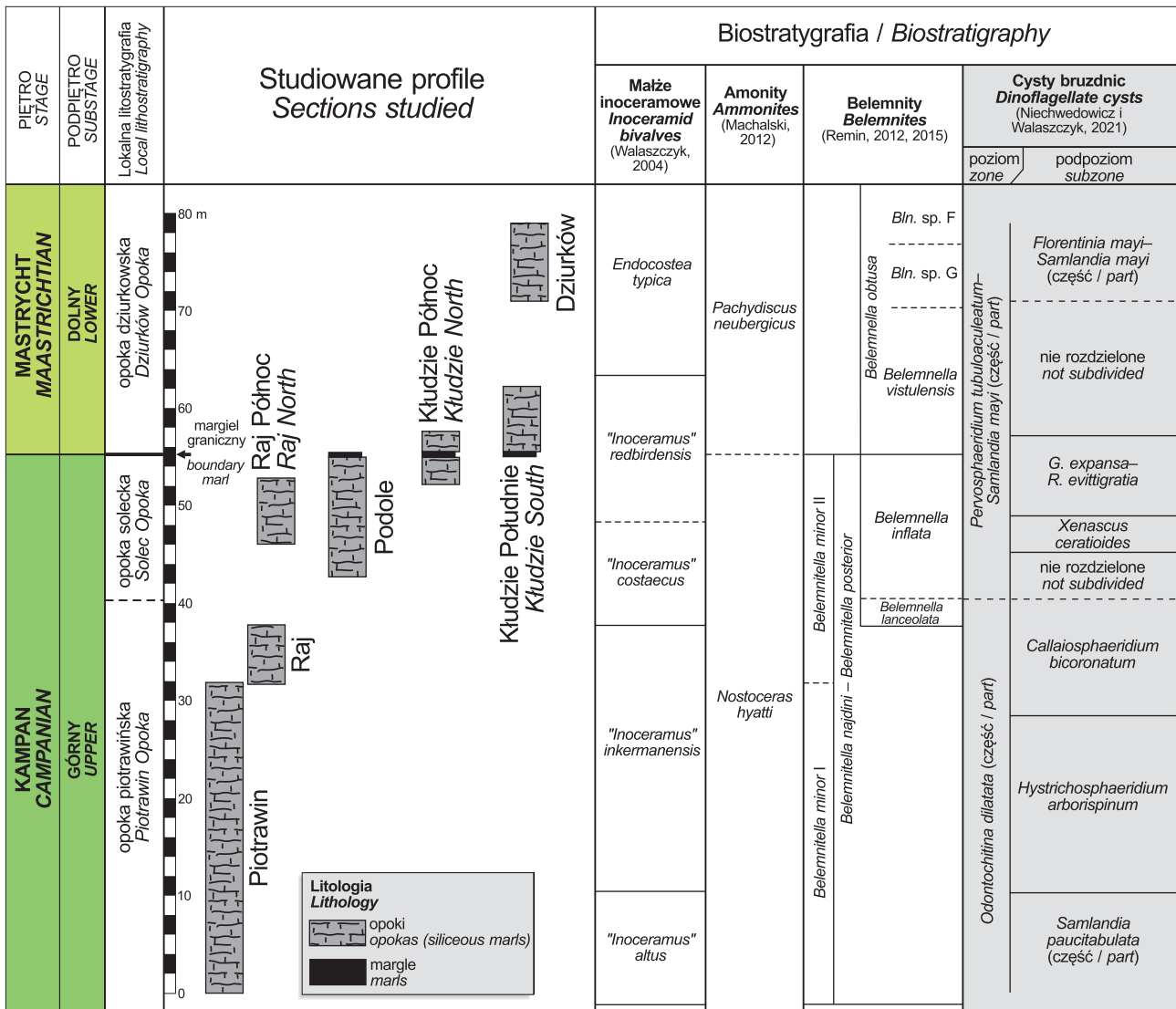
Materiał do badań pobrano z siedmiu odsłoneń profilu środkowej Wisły (ryc. 2, 3; w porządku stratygraficznym): Piotrawin (42 próbki), Raj (15 próbek), Podole (43 próbki), Raj Północ (27 próbek), Kłudzie Północ (23 próbki), Kłudzie Południe (22 próbki) i Dziurków (11 próbek). Łącznie pobrano 183 próbki (zebrane i udostępnione do badań przez Ireneusza Walaszczyka). Odsłoneńca oprób-

kowano w odstępach zapewniających wysoką rozdzielczość analizy (odstępy jednometrowe lub mniejsze). Zagęszczenie opróbkowania (odstępy 25–30 cm pomiędzy próbkami) zastosowano w interwałach krytycznych dla prowadzonych badań, tj. istotnych dla wysoce precyzyjnych korelacji pomiędzy poszczególnymi odsłonięciami, oraz w bezpośrednim sąsiedztwie granicy pomiędzy kampanem a mastrychtem (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021).

Suche próbki o masie ok. 100 g (+/- 5 g) każda (waga kilku próbek była mniejsza, ok. 20–50 g) zostały poddane standardowej, palinologicznej obróbce laboratoryjnej (trawienie w 30-procentowym kwasie chlorowodorowym, a następnie w 70-procentowym kwasie fluorowodorowym, z regularną dekantacją). Utlanie, separacja gęstościowa z użyciem cieczy ciężkiej oraz metoda ultradźwiękowa nie były użyte w procesie preparacji. Następnie każdą z próbek przesiano przez filtr (średnica oczek = 15 µm), a residuum organiczne zagęszczono z wykorzystaniem wirówki labo-

ratoryjnej. Z tak wyekstrahowanej materii organicznej sporządzono preparaty do analizy mikroskopowej. Do wykonania każdego z preparatów użyto jednej kropli residuum uzyskanego z danej próbki. Zatopiono ją w glicerożelatynie, a następnie przykryto szkiełkiem nakrywkowym. Preparaty palinologiczne są przechowywane w Muzeum Geologicznym im. S.J. Thugutta (Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego).

W analizie palinologicznej do celów interpretacji biostratygraficznych i paleośrodowiskowych wykorzystywano zazwyczaj po dwa preparaty mikroskopowe wykonane z danej próbki, zwykle dające uzysk ok. 150–300 palinomorfo. Okazjonalnie, gdy liczba palinomorfo była wyjątkowo duża lub anormalnie mała, analizowano, odpowiednio, jeden lub kilka preparatów wykonanych z jednej próbki (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021; Niechwedowicz i in., 2021). Palinomorfy zidentyfikowano za pomocą mikroskopu do światła przechodzącego.



Ryc. 3. Biostratygrafia utworów górnego kampanu–najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły i pozycja chronostratygraficzna badanych profili (wg Walaszczyka, 2004, oraz Niechwedowicza, Walaszczyka, 2021). Pozycja granicy kampan/mastrycht według definicji stratypowej (Tercis les Bains, SW Francja)

Fig. 3. Biostratigraphy of the upper Campanian–lowermost Maastrichtian succession of the Middle Vistula River section and chronostratigraphic position of the sections studied (based on Walaszczyk, 2004; Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Position of the Campanian–Maastrichtian boundary as defined in the stratotype section (Tercis les Bains, SW France)

NOWE GATUNKI

Wśród bardzo dobrze zachowanych i taksonomicznie bogatych zespołów cyst bruzdnic (129 taksonów w randze gatunku lub podgatunku), udokumentowanych z interwału górnego kampan–najniższy mastrycht profilu środkowej Wisły, cztery gatunki cyst zostały zidentyfikowane jako nowe dla nauki, mianowicie:

- *Callaiosphaeridium bicoronatum* Niechwedowicz w Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021;
- *Odontochitina dilatata* Niechwedowicz, 2018;
- *Oligosphaeridium araneum* Niechwedowicz, 2021;
- *Samlandia paucitabulata* Niechwedowicz w Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021.

Te nowo wprowadzone gatunki charakteryzują się cechami morfologicznymi, które wyraźnie odróżniają je od taksonów wcześniej opisanych w literaturze.

Callaiosphaeridium bicoronatum (ryc. 4B) cechuje obecność wysokich sept szwalnych, tworzących struktury przypominające korony charakterystyczne dla apikalnej i antapikalnej części cysty (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Cechami charakterystycznymi cyst zaklasyfikowanych do *Odontochitina dilatata* (ryc. 4N) są gruba, trójwarstwowa ściana ciała centralnego i duży kąt rozwarcia, oddzielający róg lateralny od rogu antapikalnego (Niechwedowicz, 2018). *Samlandia paucitabulata* (ryc. 4G) wyróżnia się spośród innych gatunków należących do tego rodzaju ornamentacją ściany (tzw. struktura alveolarna ściany), w tym obecnością sieci przegród w jej obrębie, których ułożenie mniej lub bardziej odpowiada tabulacji cysty, tzn. układowi płytek ściany (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Ostatni ze wspomnianych gatunków, *Oligosphaeridium araneum* (ryc. 4D), cechuje się względnie długimi i smukłymi wyrostkami (ich typowa długość jest równa lub większa od średnicy ciała centralnego), których

zakończenia (perforowane lub fenestralne platformy) formują się w terminalnej części wyrostków (Niechwedowicz, 2021).

Trzy taksony spośród nowo opisanych okazały się gatunkami istotnymi stratygraficznie, które zaznaczyły swoje ostatnie wystąpienia w środkowej części górnego kampanu (*S. paucitabulata*), w górnej części górnego kampanu (*O. dilatata*) oraz w najniższym mastrychcie (*C. bicoronatum*), i zostały zaproponowane jako taksony indeksowe zonacji biostratygraficznej (ryc. 3) wprowadzonej przez Niechwedowicza i Walaszczyka (2021). Ponadto bogata obecność cyst *O. dilatata* w pewnych interwałach badanego profilu została zinterpretowana jako prawdopodobny wskaźnik podwyższenia temperatury wód powierzchniowych (Niechwedowicz i in., 2021).

BIOSTRATYGRAFIA I KORELACJE BIOSTRATYGRAFICZNE

Niechwedowicz i Walaszczyk (2021) udokumentowali w utworach górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły 42 biozdarzenia (najniższe lub najwyższe wystąpienia) cyst bruzdnic, sugerujące istotny potencjał biostratygraficzny tej grupy w badanym interwale. Analizowany materiał został porównany z zespołami cyst bruzdnic kampanu i mastrychtu udokumentowanymi w innych obszarach świata (m.in. Australia, Austria, Belgia, Czechy, Dania, Francja, Hiszpania, Holandia, Izrael, Kanada, Niemcy, Norwegia, Nowa Zelandia, Rosja, Stany Zjednoczone i Włochy). Analiza zasięgów poszczególnych taksonów umożliwiła wyselekcjonowanie najbardziej użytecznych stratygraficznie form (ryc. 4, 5), których najniższe lub najwyższe wystąpienia zostały zidentyfikowane w zbliżonej pozycji stratygraficznej wielu obszarów Europy, a także świata. Niechwedowicz i Walaszczyk (2021)

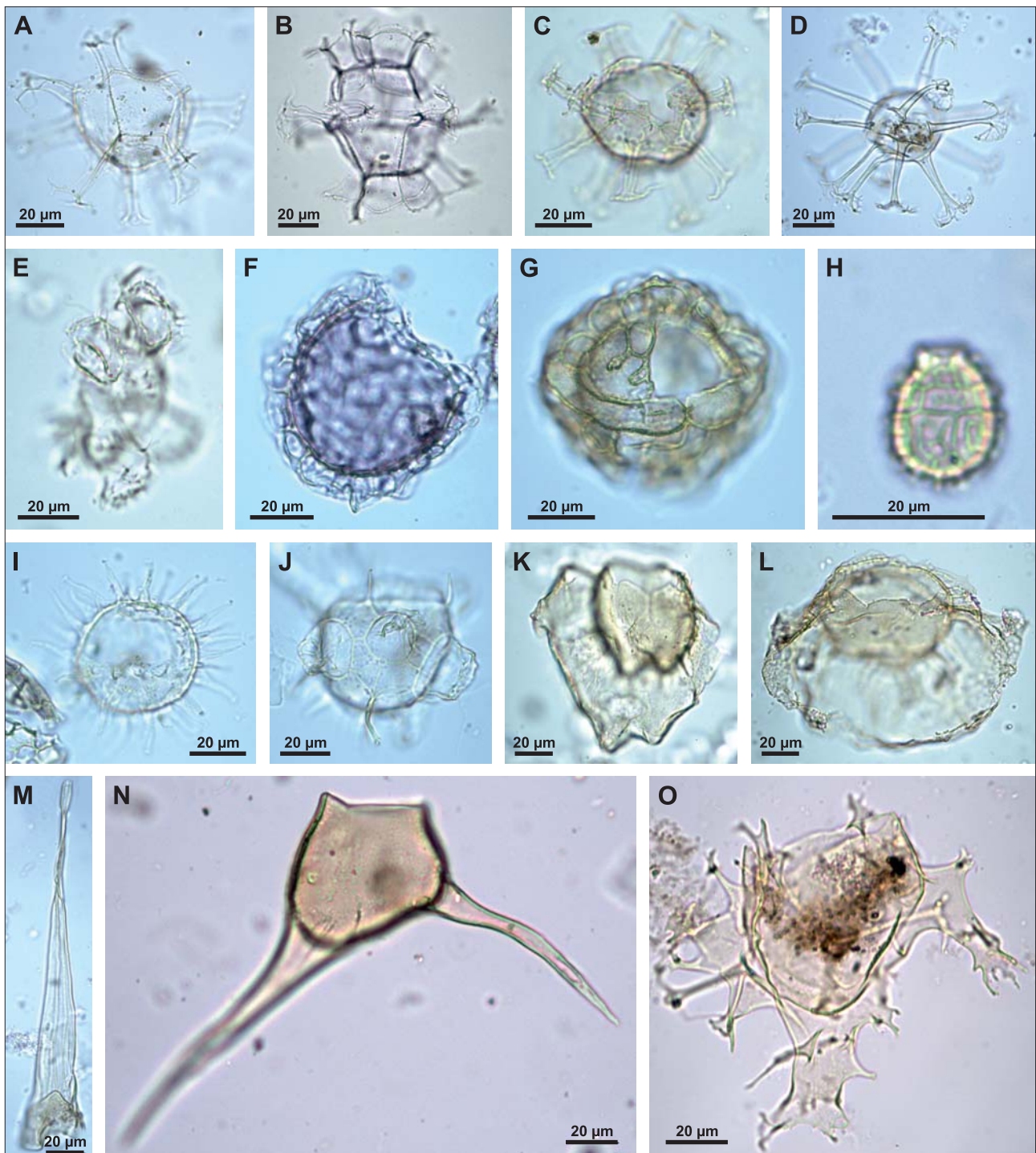
→

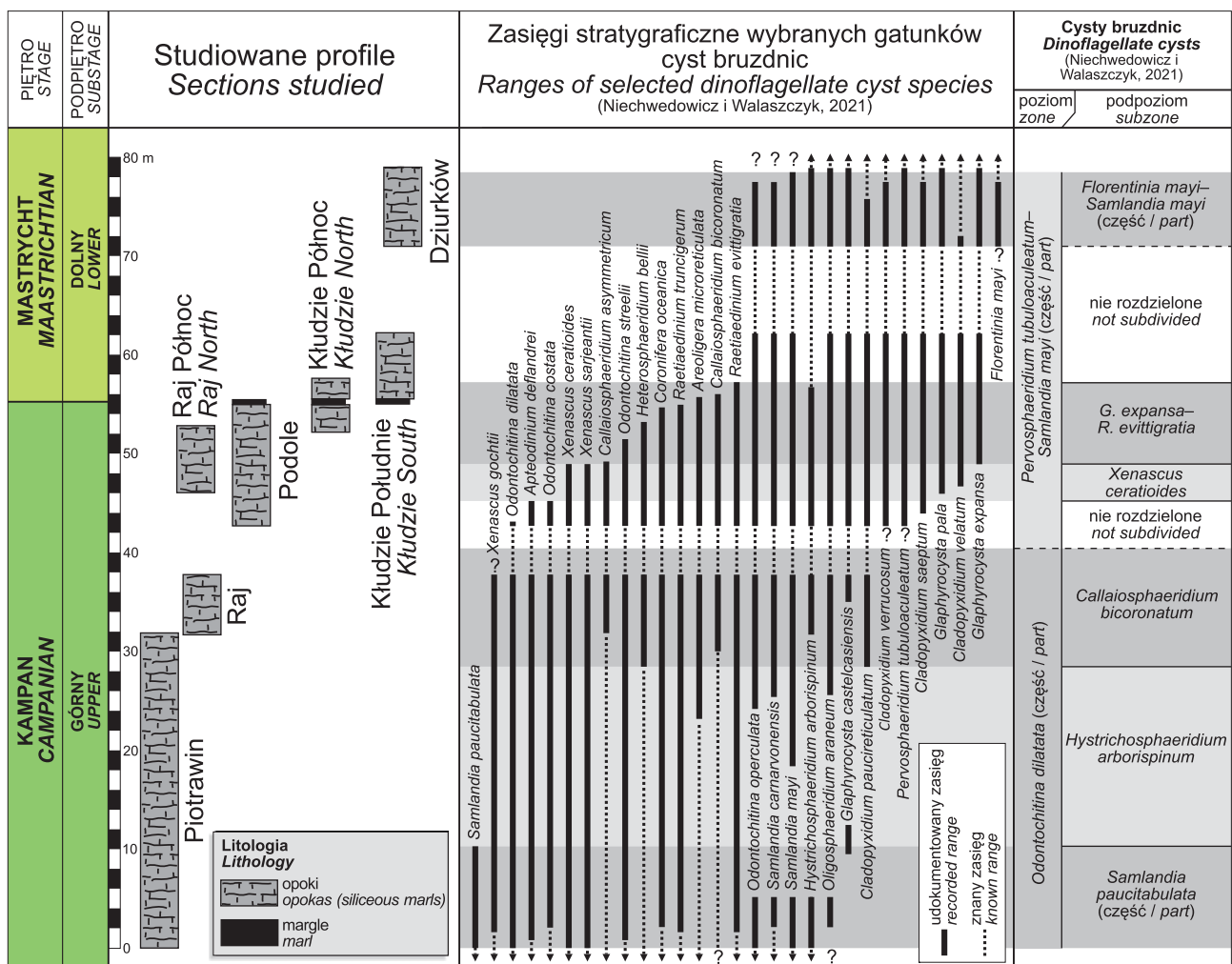
Ryc. 4. Istotne stratygraficznie gatunki cyst bruzdnic z utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły: **A** – *Callaiosphaeridium asymmetricum* (Deflandre, Courteville, 1939) Davey, Williams, 1966b – najwyższy kampan, Podole; **B** – *Callaiosphaeridium bicoronatum* Niechwedowicz w Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021 – górny kampan, Piotrawin; **C** – *Hystri-chosphaeridium arborispinum* Davey, Williams, 1966b – górny kampan, Piotrawin; **D** – *Oligosphaeridium araneum* Niechwedowicz, 2021 – najwyższy kampan, Raj Północ; **E** – *Florentinia mayi* Kirsch, 1991 – najniższy mastrycht, Dziurków; **F** – *Samlandia mayi* McMinn, 1988 – górny kampan, Piotrawin; **G** – *Samlandia paucitabulata* Niechwedowicz w Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021 – górny kampan, Piotrawin; **H** – *Cladopyxidium paucireticulatum* Slimani, 1994 – najniższy mastrycht, Dziurków; **I** – *Pervosphaeridium tubuloaculeatum* Slimani, 1994 – najwyższy kampan, Podole; **J** – *Raetiaedinium evittigratia* Kirsch, 1991 – najwyższy kampan, Podole; **K** – *Glaphyrocysta expansa* (Corradini, 1973) Roncaglia, Corradini, 1997 – najniższy mastrycht, Dziurków; **L** – *Glaphyrocysta pala* (Kirsch, 1991) Niechwedowicz, 2021 – najniższy mastrycht, Kludzie Północ; **M** – *Odontochitina costata* Alberti, 1961 – górny kampan, Piotrawin; **N** – *Odontochitina dilatata* Niechwedowicz, 2018 – górny kampan, Piotrawin; **O** – *Xenascus ceratioides* (Deflandre, 1937) Lentin, Williams, 1973 – górny kampan, Piotrawin

Fig. 4. Stratigraphically significant dinoflagellate cyst species from the upper Campanian–lowermost Maastrichtian of the Middle Vistula River section: **A** – *Callaiosphaeridium asymmetricum* (Deflandre, Courteville, 1939) Davey, Williams, 1966b – uppermost Campanian, Podole; **B** – *Callaiosphaeridium bicoronatum* Niechwedowicz in Niechwedowicz and Walaszczyk, 2021 – upper Campanian, Piotrawin; **C** – *Hystri-chosphaeridium arborispinum* Davey, Williams, 1966b – upper Campanian, Piotrawin; **D** – *Oligosphaeridium araneum* Niechwedowicz, 2021 – uppermost Campanian, Raj North; **E** – *Florentinia mayi* Kirsch, 1991 – lowermost Maastrichtian, Dziurków; **F** – *Samlandia mayi* McMinn, 1988 – upper Campanian, Piotrawin; **G** – *Samlandia paucitabulata* Niechwedowicz in Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021 – upper Campanian, Piotrawin; **H** – *Cladopyxidium paucireticulatum* Slimani, 1994 – lowermost Maastrichtian, Dziurków; **I** – *Pervosphaeridium tubuloaculeatum* Slimani, 1994 – uppermost Campanian, Podole; **J** – *Raetiaedinium evittigratia* Kirsch, 1991 – uppermost Campanian, Podole; **K** – *Glaphyrocysta expansa* (Corradini, 1973) Roncaglia and Corradini, 1997 – lowermost Maastrichtian, Dziurków; **L** – *Glaphyrocysta pala* (Kirsch, 1991) Niechwedowicz, 2021 – lowermost Maastrichtian, Kludzie North; **M** – *Odontochitina costata* Alberti, 1961 – upper Campanian, Piotrawin; **N** – *Odontochitina dilatata* Niechwedowicz, 2018 – upper Campanian, Piotrawin; **O** – *Xenascus ceratioides* (Deflandre, 1937) Lentin, Williams, 1973 – upper Campanian, Piotrawin

zapropowowali biostratygraficzny podział utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu na dwa poziomy, *Odontochitina dilatata* i *Pervosphaeridium tubuloaculeatum-Samlandia mayi*, dzielące się na sześć następujących po sobie jednostek podrzędnych (podpoziomy): *Samlandia paucitabulata*, *Hystrichosphaeridium arborispinum*, *Callaiosphaeridium bicoronatum*, *Xenascus ceratioides*, *Glaphyrocysta expansa-Raetiaedinium evittigratia* i *Florentinia mayi-Samlandia mayi* (ryc. 3, 5). Jak wspomniano, trzy spośród taksonów indeksowych tej zonacji biostratygraficznej stanowią nowe gatunki (*C. bicoronatum*, *O. dilatata* i *S. paucitabulata*) zaproponowane przez autora (Niechwedowicz, 2018; Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021); geograficzne rozprzestrzenienie tych gatunków potwierdza

ich użyteczność w biostratygrafii (patrz Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Niechwedowicz i Walaszczyk (2021) zaobserwowali kumulację biozdarzeń dinoflagellatowych w wyższej części górnego kampanu, w przybliżeniu odpowiadającej granicy poziomów *Odontochitina dilatata* i *Pervosphaeridium tubuloaculeatum-Samlandia mayi* (ryc. 5), charakteryzującej się między innymi wymiowaniem form typowych dla kampanu (takich jak rodzaj *Xenascus* oraz większość gatunków rodzaju *Odontochitina*) i pojawieniem się licznych gatunków należących do rodzajów *Cladopyxidium* i *Glaphyrocysta* (rodzaje bardziej charakterystyczne dla mastrychtu i paleogenu). Z kolei podział na podpoziomy reprezentuje bardziej precyzyjny schemat biostratygraficzny, oparty na najniższych





Ryc. 5. Zasięgi istotnych stratygraficznie gatunków cyst brudnic w profilu środkowej Wisły oraz opracowana na ich podstawie biozonacja utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Pozycja granicy kampan/mastrycht według definicji stratotypowej (Tercis les Bains, SW Francja)

Fig. 5. Ranges of stratigraphically significant dinoflagellate cyst species in the Middle Vistula River section and the dinoflagellate cyst-based zonal/subzonal scheme of the upper Campanian–lowermost Maastrichtian (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Position of the Campanian–Maastrichtian boundary as defined in the stratotype section (Tercis les Bains, SW France)

pojawieniach się lub najwyższych wystąpieniach poszczególnych taksonów.

Podział biostratygraficzny wykorzystujący cysty Dinoflagellata został skalibrowany (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021) z wcześniejszymi schematami biozonalnymi opracowanymi dla studiowanego obszaru, m.in. na podstawie małży inoceramowych (Walaszczyk, 2004), amonitów (Machalski, 2012) oraz belemnitów (m.in. Remin, 2012, 2015), i stanowi on istotną część zintegrowanej stratygrafii wypracowanej dla górnego kampanu oraz najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły (ryc. 3).

Porównanie profilu środkowej Wisły z tetydzkim profilem Tercis les Bains (stratotypem granicy kampan/mastrycht; Odin, Lamaurelle, 2001) umożliwiła obfitość istotnych stratygraficznie taksonów cyst brudnic (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Potwierdzono w ten sposób korelacje pomiędzy tymi obszarami, rozpoznane w toku wcześniejszych badań małży inoceramowych (Walaszczyk i in., 2002; Walaszczyk, 2004) i amonitów (Machalski, 2012). Możliwe były również precyzyjne korelacje profilu środkowej Wisły z innymi istotnymi, borealnymi (Belgia i Holandia: Slimani, 2001) i tetydzki-

mi (południowe Niemcy: Kirsch, 1991; północne Włochy: Roncaglia, Corradini, 1997) profilami Europy, włącznie z kalibracją dinoflagellatowych schematów biostratygraficznych zaproponowanych wcześniej dla tych obszarów (ryc. 6). Niechwedowicz i Walaszczyk (2021) dowiedli również, że zasięgi stratygraficzne niektórych taksonów cyst brudnic mogą umożliwiać korelacje z bardziej odległymi obszarami, takimi jak Ameryka Północna czy Australia.

Wyniki badań Niechwedowicza i Walaszczyka (2021) potwierdzają fakt, że spośród pięciu biozdarzeń dinoflagellatowych, zaproponowanych jako formalne wskaźniki granicy kampan/mastrycht (Antonescu i in., 2001; Odin, Lamaurelle, 2001), najwyższe wystąpienia *Raetiaedinium evittigratia* (ryc. 4J) i *R. truncigerum* są najlepszym przybliżeniem pozycji tej granicy. Ostatnie pojawienia się *Samlandia carnarvonensis* i *S. mayi* (ryc. 4F) są wyraźnie młodsze i datowane na wczesny mastrycht. Niechwedowicz i Walaszczyk (2021), oprócz wspomnianych formalnych wskaźników granicy kampan/mastrycht, podkreślili istotność innych biozdarzeń dinoflagellatowych datowanych na pogranicze kampanu i mastrychtu, a mianowicie najwyższe

wystąpienia *Apteodinium deflandrei*, *Areoligera microreticulata*, *Callaiosphaeridium asymmetricum* (ryc. 4A), *C. bicoronoatum* – wymarcie rodzaju *Callaiosphaeridium* (ryc. 4B), *Coronifera oceanica*, *Heterosphaeridium bellii*, *Odontochitina costata* (ryc. 4M), *O. dilatata* (ryc. 4N), *O. strelii*, *Xenascus ceratioides* (ryc. 4O), *X. gochtii*, *X. sarjaentii* (wymarcie rodzaju *Xenascus*) i pojawienie się *Cladopyxidium saeptum*, *C. velatum*, *C. verrucosum*, *Florentinia mayi* (ryc. 4E), *Glaphyrocysta expansa* (ryc. 4K), *G. pala* (ryc. 4L) i *Pervosphaeridium tubuloaculeatum* (ryc. 4I). Choć nie wszystkie spośród tych dodatkowych biozdarzeń zostały rozpoznane w Tercis les Bains (Antonescu i in., 2001) oraz innych profilach dokumentujących utwory pogranicza kampanu i mastrychtu, geograficzne rozprzestrzenienie tych zdarzeń sugeruje, że mogą one stanowić istotne stratygraficznie wskaźniki, nawet na skalę ponadregionalną lub globalną (Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021).

PALEOEKOLOGIA FITOPLANKTONU I REKONSTRUKCJA PALEOŚRODOWISKA

Wysokorozdzielcza analiza organicznego fitoplanktonu z górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły dostarczyła wielu cennych informacji paleośrodowiskowych. Niechwedowicz i in. (2021) użyli licznych wskaźników powszechnie wykorzystywanych w paleośrodowiskowych badaniach palinologicznych, takich jak względna obfitość palinomorf w próbkach, bogactwo gatunkowe, wskaźnik T/M (stosunek ilości palinomorf pochodzenia lądowego do palinomorf morskich), względna obfitość poszczególnych grup fitoplanktonu organicznego (cysty bruzdnic, akrytarchy, morskie i słodkowodne glony), wskaźnik P/G (stosunek liczby peridinioidalnych do gonyaulacoidalnych cyst bruzdnic), względna obfitość ekologicz-

nych grup cyst bruzdnic (np. Jaminski, 1995). Niechwedowicz i in. (2021) zaobserwowali w studiowanym interwale osadów dużą zmienność zespołów fitoplanktonu organicznego, szczególnie uwidaczniającą się we wzajemnie zależnych wahaniach obfitości poszczególnych paleoekologicznie istotnych grup cyst bruzdnic (grupy *Areoligera*, *Exochosphaeridium*, *Hystrichosphaeridium*, *Spiniferites* i *Impagidinium*). Trend ich zmienności został zinterpretowany jako odzwierciedlenie zależności pomiędzy obecnością poszczególnych grup cyst Dinoflagellata i odległością od brzegu, co pośrednio może przekładać się na głębokość basenu, dokumentując względne zmiany poziomu morza w przedziale szelfu wewnętrznego i zewnętrznego. Niechwedowicz i in. (2021) rozpoznali trzy główne epizody pogłębienia (wiekowo odpowiadające dobom inoceramowym „*Inoceramus*” *altus*, wczesna „*I.*” *redbirdensis* i *Endocostea typica*), oddzielone dwoma interwałami sflęczenia basenu (ryc. 7). Tak udokumentowany trend względnych zmian poziomu morza w dużej mierze okazał się zgodny z krótkoterminowym trendem zmian eustatycznych (Haq, 2014; Niechwedowicz i in., 2021; ryc. 7).

Interwałem, w którym eustatyczną genezę zmian poziomu morza należy uznać raczej za wątpliwą, jest poziom *Endocostea typica* (odsłonięcie Dziurków), gdzie jest interpretowane relatywne podniesienie poziomu morza

→

Ryc. 6. Kalibracja wybranych europejskich zonacji dinoflagellatowych pogranicza kampanu i mastrychtu (wg Niechwedowicza, Walaszczyka, 2021). Pozycja granicy kampanu/mastrychtu według definicji stratypowej (Tercis les Bains, SW Francja)

Fig. 6. Calibration of selected Campanian–Maastrichtian dinoflagellate cyst zonation of Europe (based on Niechwedowicz, Walaszczyk, 2021). Position of the Campanian–Maastrichtian boundary as defined in the stratypic section (Tercis les Bains, SW France)

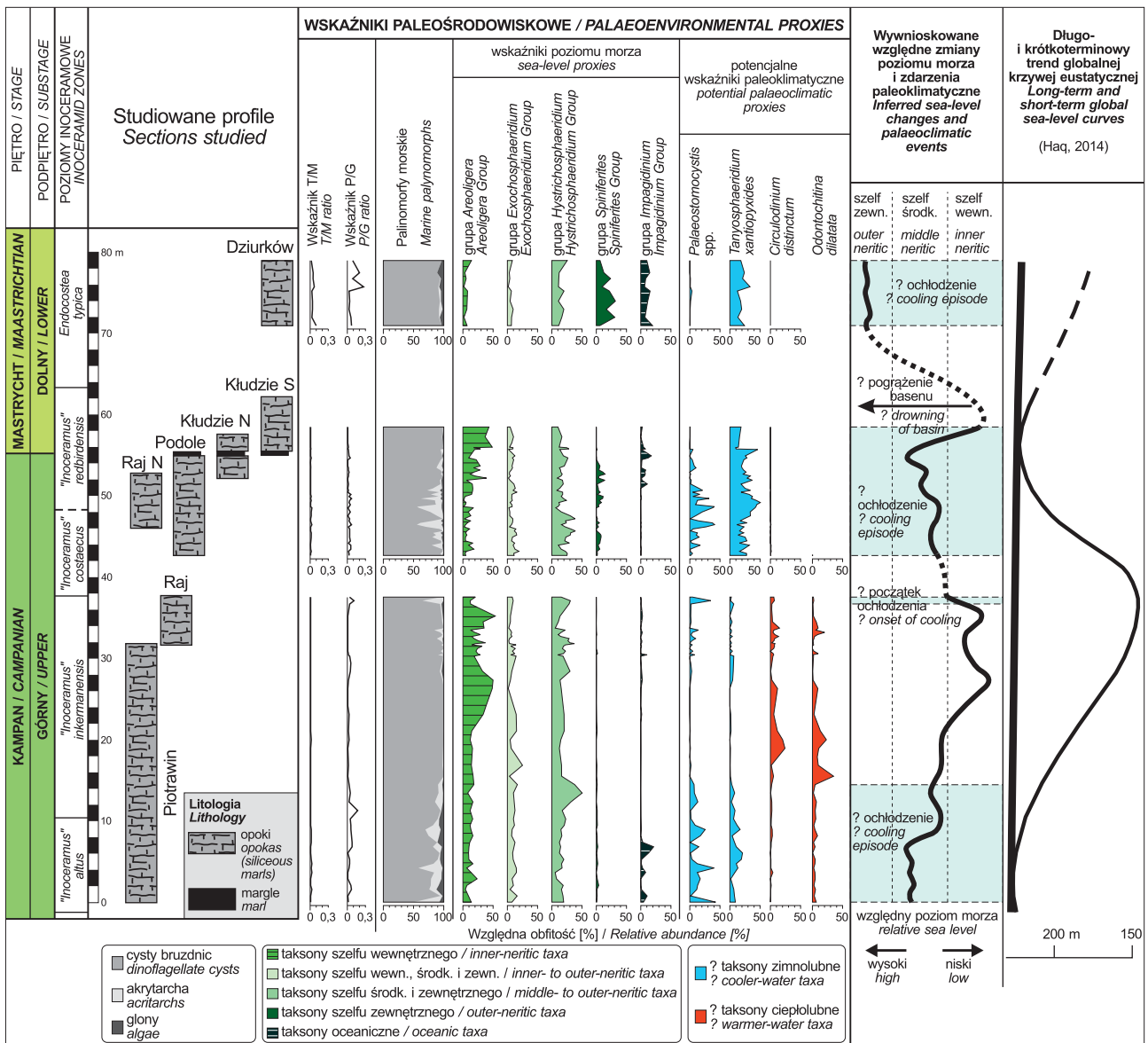
PIETRO STAGE	PODPIETRO SUBSTAGE	Cysty bruzdnic <i>Dinoflagellate cysts</i>								
		Profil środkowej Wisły <i>Middle Vistula River section</i> (Niechwedowicz i Walaszczyk, 2021)		Południowe Niemcy <i>Southern Germany</i> (Kirsch, 1991, 2000)		Północne Włochy <i>Northern Italy</i> (Roncaglia i Corradini, 1997)		Belgia, Holandia <i>Belgium, the Netherlands</i> (Slimani, 2001)		
		poziom zone	podpoziom subzone	poziom zone	podpoziom subzone	poziom zone	podpoziom subzone	poziom zone	podpoziom subzone	
MASTRYCHT MAASTRICHTIAN	DOLNY LOWER	Florentinia mayi– Samlandia mayi (część / part)		Cerodinium diebelii	Alterbidinium varium	Hystrichosphaeropsis quasicribrata		Pervosphaeridium tubuloaculeatum	a	
		nie rozdzielone not subdivided				Glaphyrocysta expansa				
KAMPAN CAMPANIAN	GÓRNY UPPER	Pervosphaeridium tubuloaculeatum– Samlandia mayi (część / part)		Areoligera coronata	Spongodinium delitense	Tanyosphaeridium xanthiopyxides		Membranilamaxes liradiscolides	C. paucireticulatum	
		G. expansa– R. evittigrata				Cerodinium diebelii				A. varium
		Xenascus ceratioides				Palaeocystodinium golzowense				
		nie rozdzielone not subdivided				Alisogymnium euciaeense				Samlandia mayi
Callaiosphaeridium bicornatum		Spinidinium? clavum								
Odontochitina dilatata (część / part)		Hystrichosphaeridium arborispinum		Areoligera coronata						
Samlandia paucitabulata (część / part)										

(Niechwedowicz i in., 2021), stojące w sprzeczności z rozpoznanym w tym interwale eustatycznym trendem regresywnym (Haq, 2014). Zespoły cyst bruźnic rozpoznane w Dziurkowie (ryc. 7) są zdominowane przez taksony należące do ekologicznych grup *Spiniferites* i *Impagidinium*, charakterystycznych dla szelfu zewnętrznego i strefy oceanicznej (np. Jaminski, 1995). Towarzyszy im uboga reprezentacja ekologicznej grupy *Areoligera*, która obficie występowała tylko w wodach szelfu wewnętrznego (np. Nøhr-Hansen i in., 2016), wyraźnie sugerując odnośnie profilu Dziurkowa względnie głębokie środowisko depozycji (najprawdopodobniej szelf zewnętrzny) – najgłębsze spośród rozpoznanych w całym badanym interwale.

Takiej interpretacji teoretycznie mogłaby przeczyć obecność w profilu Dziurkowa także cyst bruźnic charakterystycznych dla estuariów (cysty dinogymnioidalne), glonów typowych dla rejonów przybrzeżnych (*Paralecniella indentata*) i workowych ziaren pyłku (są to spormorfy o dużej pławności i podatne na przenoszenie przez

wiatr na duże odległości; np. Tyson, 1995). Wszystkie z wymienionych palinomorfy, choć przeważnie jest ich niewiele w profilu środkowej Wisły, są relatywnie najczęściej znajdowane właśnie w Dziurkowie (Niechwedowicz i in., 2021). Ich obecność może świadczyć o transporcie palinomorfy ze środowisk obrzeża pobliskiej wyspy krakuskiej (patrz Machalski, Malchuk, 2019, Fig. 3; Niechwedowicz i in., 2021, Fig. 2) oraz o ich depozycji w niskoenergetycznych wodach szelfu zewnętrznego (Niechwedowicz i in., 2021). Transport ten prawdopodobnie mógł być związany ze wzmoczoną aktywnością tektoniczną, prowadzącą do pograżenia basenu, efektem czego mógł być wzrost relatywnych paleogłębokości podczas eustatycznego trendu regresywnego (patrz ryc. 7). Wspomniana aktywność tektoniczna mogła być związana z udokumentowaną na tym obszarze podwyższoną subsydencją i tektoniką kompresyjną wczesnego masystrichtu (Świdrowska i in., 2008).

Uzyskane wyniki badań są do pewnego stopnia zgodne z poprzednimi interpretacjami paleośrodowiskowymi



Ryc. 7. Analiza paleośrodowiskowa utworów górnego kampanu–najniższego masystrichtu profilu środkowej Wisły na podstawie rozprzestrzenienia fitoplanktonu organicznego (wg Niechwedowicza i in., 2021)

Fig. 7. Palaeoenvironmental analysis of the upper Campanian–lowermost Maastrichtian of the Middle Vistula River section, based on the distribution of organic-walled phytoplankton (after Niechwedowicz et al., 2021)

dotyczącymi profilu środkowej Wisły, opublikowanymi przez Abdela-Gawada (1986), Świerczewską-Gładysz (2006, 2012) oraz Dubicką i Peryt (2012). Abdel-Gawad (1986) na podstawie dystrybucji mięczaków niegłowonogowych stwierdził, iż sukcesja pogranicza kampanu i mastrychtu profilu środkowej Wisły była deponowana w basenie o głębokości 100–150 m, w warunkach ciepłego klimatu. Maksymalna głębokość basenu szacowana przez Świerczewską-Gładysz (2006, 2012) na podstawie analizy rozprzestrzenienia zespołów gąbek jest nieco większa (200–250 m), z zaznaczającym się krótkotrwałym epizodem znacznego spłylenia zbiornika do kilkudziesięciu metrów niemal dokładnie na granicy kampan/mastrycht. Podobne wnioski, wysnute z analizy otwornic planktonicznych, były sugerowane przez Dubicką i Peryt (2012), z jedną zasadniczą różnicą – epizod spłylenia basenu, sugerowany przez te autorki, trwał znacznie dłużej (interwał „*Inoceramus*” *inkermanensis*–„*I.*” *redbirdensis*, obejmujący młodszą część późnego kampanu po najmłodszy mastrycht).

ZMIANY PALEOKLIMATYCZNE

Analiza liczebności okazów reprezentujących poszczególne gatunki fitoplanktonu organicznego wykazała, że w pewnych interwałach profilu środkowej Wisły niektóre gatunki cyst bruzdnic (*Circulodinium distinctum*, *Odontochitina dilatata*, *Tanyosphaeridium xanthiopyxides*) i akrytarchy (*Palaeostomocystis foveolata*, *P. reticulata*) występują w znacznej obfitości (do ok. 50% udziału w zespołach), natomiast w innych częściach profilu są rzadko odnajdywane lub nieobecne (ryc. 7). Na podstawie uzyskanych wyników, porównanych z danymi dostępnymi w literaturze, Niechwedowicz i in. (2021) stwierdzili, że gwałtowne wahania procentowego udziału tych taksonów są niezależne od zaobserwowanych wahań obfitości gatunków cyst bruzdnic powiązanych ze zmianami poziomu morza i najprawdopodobniej mogą być wynikiem wrażliwości tych pierwszych na zmiany temperatury wód powierzchniowych. Rezultaty te sugerują, że bruzdnice wytwarzające cysty *Circulodinium distinctum* i *Odontochitina dilatata* prawdopodobnie preferowały cieplejsze wody, podczas gdy te produkujące *Tanyosphaeridium xanthiopyxides* najwyraźniej dominowały w chłodniejszych okresach (Niechwedowicz i in., 2021). Niższe temperatury wód powierzchniowych preferowały zapewne również kredowe gatunki rodzaju *Palaeostomocystis* (*P. foveolata*, *P. reticulata*), a więc podobnie jak znani z kenozoiku (w tym współcześni) przedstawiciele tego rodzaju (np. Warny, 2009). Zatem obfitość *Palaeostomocystis* i *T. xanthiopyxides* oraz jednoczesny brak *C. distinctum* i *O. dilatata* (ostatni wymieniony gatunek wymarł w późnym kampanie), zaobserwowane na przełomie kampanu i mastrychtu profilu środkowej Wisły (ryc. 7), mogą potwierdzać początek globalnego ochłodzenia klimatu (kontynuującego się w mastrychcie), udokumentowanego w wielu rejonach naszego globu (np. Huber i in., 2018).

WNIOSKI

Wysokorozdzielcza analiza zespołów cyst Dinoflagellata z utworów górnego kampanu i najniższego mastrychtu profilu środkowej Wisły dostarczyła wielu nowych i bardzo

cennych danych stratygraficznych i paleośrodowiskowych. Najważniejsze wnioski są następujące:

1) Cztery gatunki cyst bruzdnic zostały zidentyfikowane i opisane jako nowe dla nauki (*Calliosphaeridium bicoronatum*, *Odontochitina dilatata*, *Oligosphaeridium araneum* i *Samlandia paucitabulata*). Ostatnie wystąpienia trzech spośród nich (*C. bicoronatum*, *O. dilatata* i *S. paucitabulata*) mają zasadnicze znaczenie stratygraficzne dla górnego kampanu–najniższego mastrychtu.

2) Analiza zasięgów stratygraficznych poszczególnych taksonów cyst bruzdnic umożliwiła stworzenie precyzyjnego schematu biostratygraficznego, składającego się z sekwencji biozdarzeń (najniższych i najwyższych wystąpień taksonów) oraz zonacji biostratygraficznej. Obydwa schematy zostały skorelowane z wcześniejszymi zonacjami badanego profilu, opracowanymi m.in. na podstawie małży inoceramowych, amonitów i belemnitów.

3) Porównanie zapisu biozdarzeń cyst bruzdnic udokumentowanych w profilu środkowej Wisły z danymi biostratygraficznymi dotyczącymi tej grupy mikroskamieniałości z innych rejonów Europy i świata, umożliwiło precyzyjne korelacje z innymi borealnymi (Belgia i Holandia) i tetydzkimi (południowe Niemcy, północne Włochy, południowo-zachodnia Francja) profilami. Zasadnicze znaczenie ma korelacja z profilem Tercis les Bains w południowo-zachodniej Francji (formalny stratotyp granicy kampan/mastrycht), potwierdzająca wcześniej zaproponowane korelacje pomiędzy tymi obszarami, rozpoznane na podstawie małży inoceramowych i amonitów.

4) Analiza paleośrodowiskowa cyst bruzdnic wykazała trend zmian poziomu morza umożliwiający jego eustaticzną interpretację. Ponadto wahania względnej obfitości niektórych gatunków cyst bruzdnic (*Circulodinium distinctum*, *Odontochitina dilatata*, *Tanyosphaeridium xanthiopyxides*) i innych składników fitoplanktonu (akrytarchy z rodzaju *Palaeostomocystis*) przypuszczalnie dokumentują w profilu środkowej Wisły ochłodzenie klimatu, którego początek, podobnie jak w wielu innych rejonach świata, jest datowany na późny kampan.

Jestem głęboko wdzięczny Prof. dr. hab. Ireneuszowi Waslaszczykowi i Dr. hab. Marcinowi Barskiemu (Wydział Geologii UW) za inspirację do prowadzenia badań palinologicznych w profilu środkowej Wisły, opiekę naukową oraz liczne dyskusje, krytyczne uwagi i cenne sugestie. Wnikliwe komentarze Dr. hab. Przemysława Gedla (ING PAN, Ośrodek Badawczy w Krakowie) i Anonimowego Recenzenta przyczyniły się do ostatecznego kształtu niniejszego artykułu.

LITERATURA

- ABDEL-GAWAD G.I. 1986 – Maastrichtian non-cephalopod mollusks (Scaphopoda, Gastropoda and Bivalvia) of the Middle Vistula Valley, Central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 36: 69–224.
- ANTONESCU E., FOUCHER J.C., ODIN G.S., SCHIPLER P., SIEGL-FARKAS A., WILSON G.J. 2001 – Dinoflagellate cysts in the Campanian–Maastrichtian succession of Tercis Les Bains (Landes, France), a synthesis. [W:] Odin G.S. (red.), *The Campanian–Maastrichtian Stage Boundary: Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other Continents*. IUGS Special Publication (monograph), Series, 36. Developments in Palaeontology and Stratigraphy, 19: 253–264.
- DUBICKA Z., PERYT D. 2012 – Latest Campanian and Maastrichtian palaeoenvironmental changes: implications from an epicontinental sea (SE Poland and western Ukraine). *Cretaceous Res.*, 37: 272–284.
- EVITT W.R. 1985 – Sporopollenin dinoflagellate cysts: their morphology and interpretation. *American Association of Stratigraphic Palynologists*, Dallas.

- GEDL P. 1995 – Cysty Dinoflagellata – zarys biologii i morfologii oraz ocena przydatności w biostratygrafii i paleoekologii. *Prz. Geol.*, 43, 203–210.
- HAQ B.U. 2014 – Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113: 44–58.
- HUBER B.T., MACLEOD K.G., WATKINS D.K., COFFIN M.F. 2018 – The rise and fall of the Cretaceous Hot Greenhouse climate. *Global and Planetary Change*, 167: 1–23.
- JAMINSKI J. 1995 – The mid-Cretaceous palaeoenvironmental conditions in the Polish Carpathians – a palynological approach. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 87: 43–50.
- KIRSCH K.-H. 1991 – Dinoflagellatenzysten aus der Oberkreide des Helvetikums und Nordultrahelvetikums von Oberbayern. *Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe A, Geologie und Paläontologie*, 22: 1–306.
- KIRSCH K.-H. 2000 – Dinoflagellatenzysten aus der höheren Oberkreide des rhenodanubischen Flysches. 1. Kalkgrabenschichten vom Schliersee/Oberbayern. *Mitteilung der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie*, 40: 3–79.
- MACHALSKI M. 2012 – A new ammonite zonation for the Maastrichtian Stage in Poland. [W:] Jagt J.W.M., Jagt-Yazykova E.A. (red.), *The Maastrichtian stage; the current concept*. *Natuurhistorisch Museum Maastricht, The Netherlands*: 40–44.
- MACHALSKI M., MALCHYK O. 2019 – Relative bathymetric position of opoka and chalk in the Late Cretaceous European Basin. *Cretaceous Res.*, 102: 30–36.
- NIECHWEDOWICZ M. 2018 – *Odontochitina dilatata* sp. nov. from the Campanian (Upper Cretaceous) of Poland: the importance of wall structure in the taxonomy of selected ceratiacean dinoflagellate cysts. *Palynology*, 43: 423–450 [ostateczna wersja z numeracją stron wydana w 2019 r.].
- NIECHWEDOWICZ M. 2021 – Dinoflagellate cysts from the Upper Cretaceous (upper Campanian to lowermost Maastrichtian) of the Middle Vistula River section, Poland. *Palynology*, 46: 1–37, artykuł 1945700 [ostateczna wersja z numeracją stron wydana w 2022].
- NIECHWEDOWICZ M., WALASZCZYK I. 2021 – Dinoflagellate cysts of the upper Campanian–basal Maastrichtian (Upper Cretaceous) of the Middle Vistula River section (central Poland): stratigraphic succession, correlation potential and taxonomy. *Newsletters on Stratigraphy*, 55: 21–67 [ostateczna wersja z numeracją stron wydana w 2022].
- NIECHWEDOWICZ M., WALASZCZYK I., BARSKI M. 2021 – Phytoplankton response to palaeoenvironmental changes across the Campanian–Maastrichtian (Upper Cretaceous) boundary interval of the Middle Vistula River section, central Poland. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 577: 1–19, artykuł 110558.
- NØHR-HANSEN H., WILLIAMS G.L., FENSOME R.A. 2016 – Biostratigraphic correlation of the western and eastern margins of the Labrador-Baffin Seaway and implications for the regional geology. *Geol. Survey of Denmark and Greenland Bull.*, 37: 1–74.
- ODIN G.S., LAMAURELLE M.A. 2001 – The global Campanian–Maastrichtian stage boundary. *Episodes*, 24: 229–238.
- POŻARYSKI W. 1974 – *Tektonika, cz. 1. Niż Polski*. [W:] Pożaryski W. (red.), *Budowa geologiczna Polski*. *Wyd. Geol.*, Warszawa: 2–34.
- REMIN Z. 2012 – The Belemnella stratigraphy of the Campanian–Maastrichtian boundary; a new methodological and taxonomic approach. *Acta Geol. Pol.*, 62: 495–533.
- REMIN Z. 2015 – The Belemnella stratigraphy of the Upper Campanian–basal Maastrichtian of the Middle Vistula section, central Poland. *Geol. Quart.*, 59: 783–813.
- RONCAGLIA L., CORRADINI D. 1997 – Upper Campanian to Maastrichtian dinoflagellate zonation in the northern Apennines, Italy. *Newsletters on Stratigraphy*, 35: 29–57.
- SLIMANI H. 2001 – Les kystes de dinoflagellés du Campanien au Danien dans la région de Maastricht (Belgique, Pays-Bas) et de Turnhout (Belgique): biozonation et corrélation avec d'autres régions en Europe occidentale. *Geol. Palaeont.*, 35: 161–201.
- ŚWIDROWSKA J., HAKENBERG M., POLUTHHOVIĆ B., SEGHEDI A., VIŠNÁKOV I. 2008 – Evolution of the Mesozoic basins on the south western edge of the east European craton (Poland, Ukraine, Moldova, Romania). *Studia Geol. Pol.*, 130: 3–130.
- ŚWIERCZEWSKA-GLADYSZ E. 2006 – Late Cretaceous siliceous sponges from the Middle Vistula River Valley (Central Poland) and their palaeoecological significance. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 76: 227–296.
- ŚWIERCZEWSKA-GLADYSZ E. 2012 – Hexactinellid sponge assemblages across the Campanian–Maastrichtian boundary in the Middle Vistula River section, central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 62: 561–580.
- TYSON R.V. 1995 – *Sedimentary organic matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman and Hall, London: 615.
- WALASZCZYK I. 2004 – Inoceramids and inoceramid biostratigraphy of the Upper Campanian to basal Maastrichtian of the Middle Vistula River section, central Poland. *Acta Geol. Pol.*, 54: 95–168.
- WALASZCZYK I. 2012 – Integrated stratigraphy of the Campanian–Maastrichtian boundary succession of the Middle Vistula River (central Poland) section; introduction. *Acta Geol. Pol.*, 62: 485–493.
- WALASZCZYK I., COBBAN W.A., ODIN G.S. 2002 – The inoceramid succession across the Campanian–Maastrichtian boundary. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 49: 53–60.
- WALASZCZYK I., DUBICKA Z., OLSZEWSKA-NEJBERT D., REMIN Z. 2016 – Integrated biostratigraphy of the Santonian through Maastrichtian (Upper Cretaceous) of extra-Carpathian Poland. *Acta Geol. Pol.*, 66: 313–350.
- WARNY S. 2009 – Species of the acritarch genus *Palaeostomocystis* Deflandre 1937: Potential indicators of neritic subpolar to polar environments in Antarctica during the Cenozoic. *Palynology*, 33: 39–50.
- ŻELĄŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARKOWSKI P., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĘCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja Tektoniczna Polski. *Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław*: 60.

Praca wpłynęła do redakcji 11.08.2022 r.

Akceptowano do druku 27.09.2022 r.



Zdjęcie na okładce: Czynny kamieniołom opok najniższego mastrychtu w Dziurkowie (profil środkowej Wisły). Fot. M. Niechwedowicz – zobacz artykuł na str. 751

Cover photo: Active quarry at Dziurków (Middle Vistula River section), exposing lowermost Maastrichtian opokas. Photo by M. Niechwedowicz – see article on page 751