

MIKROPRZESZŁOŚĆ

Badania specjalistyczne w archeologii



pod redakcją
Aldony Kurzawskiej i Iwony Sobkowiak-Tabaki



WYDZIAŁ
ARCHEOLOGII

MIKROPRZESZŁOŚĆ

Badania specjalistyczne w archeologii

pod redakcją

Aldony Kurzawskiej i Iwony Sobkowiak-Tabaki

Poznań 2021

Mikroprzeszłość
Badania specjalistyczne w archeologii

Recenzje:
dr hab. Maria Lityńska-Zajac, prof. IAE PAN
dr hab. Marek Nowak, prof. UJ

Redakcja:
Aldona Kurzawska
Iwona Sobkowiak-Tabaka

Opracowanie techniczne i skład komputerowy:
Bartłomiej Gruszka

Korekta językowa:
Agnieszka Gruszka

Projekt okładki i rycin poprzedzających rozdziały:
Przemysław Matejko

ISBN: 978-83-946591-8-9

<https://doi.org/10.14746/WA.2021.1.978-83-946591-8-9>

Monografia jest dostępna online w Repozytorium Uniwersytetu im A. Mickiewicza w Poznaniu
<https://repozytorium.amu.edu.pl/>

Wydział Archeologii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Publikacja dofinansowana z Projektu Wydziału Archeologii nr DEC/19/WArch/2021

Copyright by Faculty of Archaeology Adam Mickiewicz University in Poznań and authors

Poznań 2021

Nakład:
200 egz.

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
Andrzej Michałowski	
Wprowadzenie	7
Aldona Kurzawska, Iwona Sobkowiak-Tabaka	
Palinologia	13
Piotr Kołaczek, Monika Karpińska-Kołaczek, Sambor Czerwiński, Katarzyna Marcisz, Mariusz Lamentowicz	
Archeobotanika	31
Magdalena Moskal-del Hoyo	
Dendroarcheologia	67
Henryk P. Dąbrowski	
Mikroskamieniałości okrzemkowe	89
Monika Rzodkiewicz	
Wioślarki	115
Izabela Zawiska	
Archeoentomologia	131
Marcin Kadej, Szymon Konwerski, Agata Hałuszko	
Archeomalakologia	155
Aldona Kurzawska	
Izotopy stabilne węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w archeomalakologii	181
Karina Apolinarska	
Archeozoologia	199
Jarosław Wilczyński	

Antropologia fizyczna	219
Dorota Lorkiewicz-Muszyńska, Julia Sobol, Wojciech Kociemba, Anna Hyrchała, Mariusz Glapiński	
Archeogenetyka	249
Maciej Chyleński	
Mikromorfologia	277
Karolina Leszczyńska, Michał Jankowiak	
Petroarcheologia	297
Piotr Gunia, Ewa Lisowska	
Surowce krzemionkowe – możliwości badań	315
Iwona Sobkowiak-Tabaka	
Traseologia	333
Katarzyna Pyżewicz	
Ceramika – badania petroarcheologiczne	353
Piotr Gunia, Marta Krueger, Ewa Lisowska	
Ceramika – badania osadów organicznych wnętrza naczyń	367
Marta Krueger	
Tekstylnia	387
Maria Cybulska, Anna Drązkowska	
Archeometalurgia	407
Marcin Biborski, Mateusz Biborski	
Mikroskopy stosowane w archeologii	431
Piotr Gunia, Ewa Lisowska, Aldona Kurzawska	
Ręczny spektrometr fluorescencji rentgenowskiej (XRF) w archeologii	443
Michał Krueger	
Wykaz autorów	451



Mikroskamieniałości okrzemkowe

Monika Rzodkiewicz

WSTĘP

Okrzemki (*Bacillariophyta*) to jednokomórkowe rośliny. Są niewielkie, ich rozmiar wynosi bowiem od 5 μm do 5500 μm (przeciętnie 10-200 μm). Należą do najczęściej spotykanych grup glonów, których występowanie związane jest z obecnością wody. Spotykane są w zbiornikach różnego typu, a więc w morzach, jeziorach, rzekach, potokach. Okrzemki mogą występować również w glebie i stosunkowo suchych miejscach, np. na murach, na powierzchni skał, pod głazami na obszarach pustynnych. Mogą egzystować wszędzie tam, gdzie znajdują wystarczające ilości wilgoci oraz światła, które jest niezbędne do przeprowadzania fotosyntezy (Nowicka-Krawczyk i in. 2014: 116-123; Pliński i Witkowski 2009: 10; Taylor i in. 2007: 4-6).

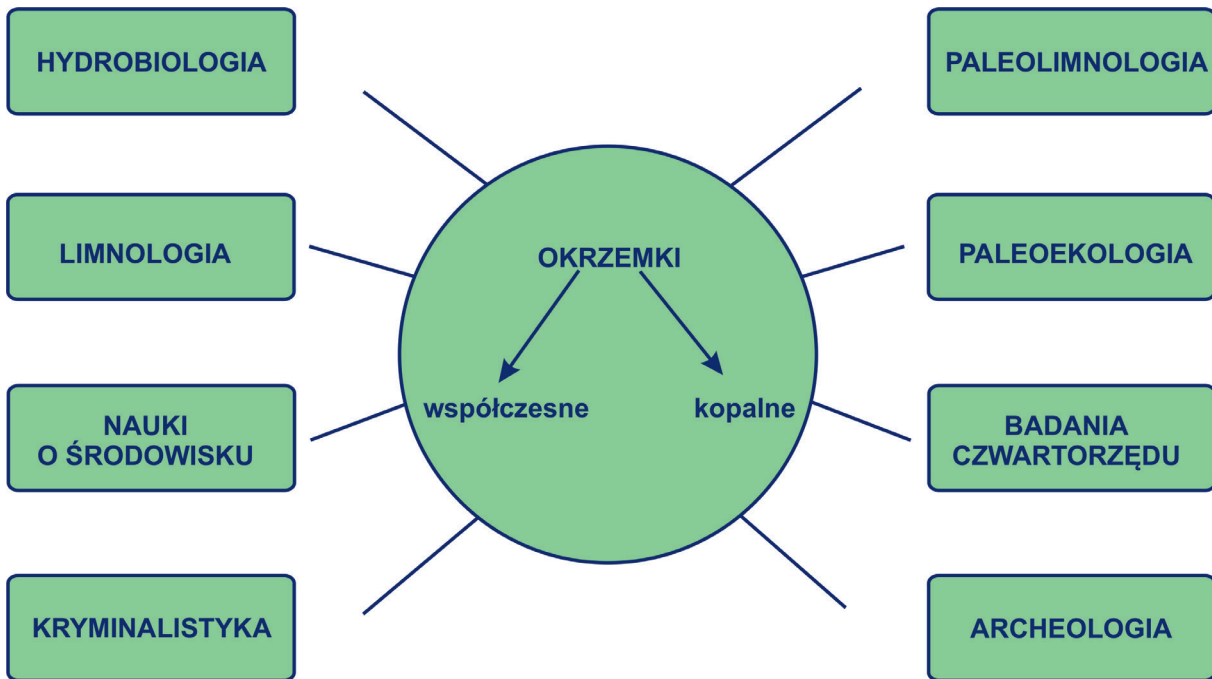
Okrzemki dostarczają informacji o warunkach istniejących w zbiornikach wodnych współcześnie, jak również w przeszłości. Wykorzystywane są powszechnie w rekonstrukcjach środowisk jeziornych, lagunowych i morskich, a ponadto w archeologii (ryc. 1) (Battarbee 1988: 621-644; Cameron 2013: 516-521; Denys 1992: 195-197; Hill i in. 2017: 79-102; Juggins i Cameron 2010: 514-522; Mannion, 1987: 131-147).

Wykazują zdolność przystosowania się do zmieniających się warunków środowiska, która pozwoliła tej grupie glonów przetrwać przez tysiące lat.

Dzięki tej umiejętności, jak również dobremu zachowaniu się w większości osadów okrzemki stały się jednym z najlepszych archiwów służących do rekonstrukcji środowiska przyrodniczego.

Badania kopalnej flory okrzemkowej są podstawą odtwarzania wahań poziomu wody, stanu troficznego, zasolenia (Anderson 1997: 427-440; Andrén 1999: 665-676; Bennion i in. 1996: 2004-2007; Fritz 1990: 1771-1781; Patrick 1984: 756-766). Ponadto okrzemki reagują na zmiany zawartości tlenu, pH i materii organicznej znajdującej się w zbiorniku (Birks i in. 1990: 263-278; Cox 1991: 33-39; John 2004: 95-104; Schoemann i Haworth 1984: 757-759). Mają stosunkowo dobrze określone zakresy tolerancji ekologicznej wobec szeregu czynników środowiskowych, dlatego wykorzystywane są jako bioindykatory, a zmiany w składzie gatunkowym flory okrzemkowej wykorzystywane są często jako podstawa do rekonstrukcji zmian warunków środowiskowych, jakie dokonały się po ustąpieniu lądolodu.

Najstarsze opisane okrzemki kopalne pochodzą z dolnej kredy (np. Sims i in. 2006: 361-402; Van Den Hoek i in. 1998: 627). W świetle badań polskich naukowców należy zaznaczyć, że okrzemki miały prawdopodobnie znacznie dłuższą historię niż ta, ponieważ istnieją doniesienia o skamieniałościach triasowych i prekambryjskich (Kwiecińska 2000: 75-95; Siemińska 2015: 115-117; Siemińska 2000: 55-74). Przykładem mogą być fragmenty



Ryc. 1. Zastosowanie analizy okrzemkowej (według Alhonen i Väkeväinen 1981)

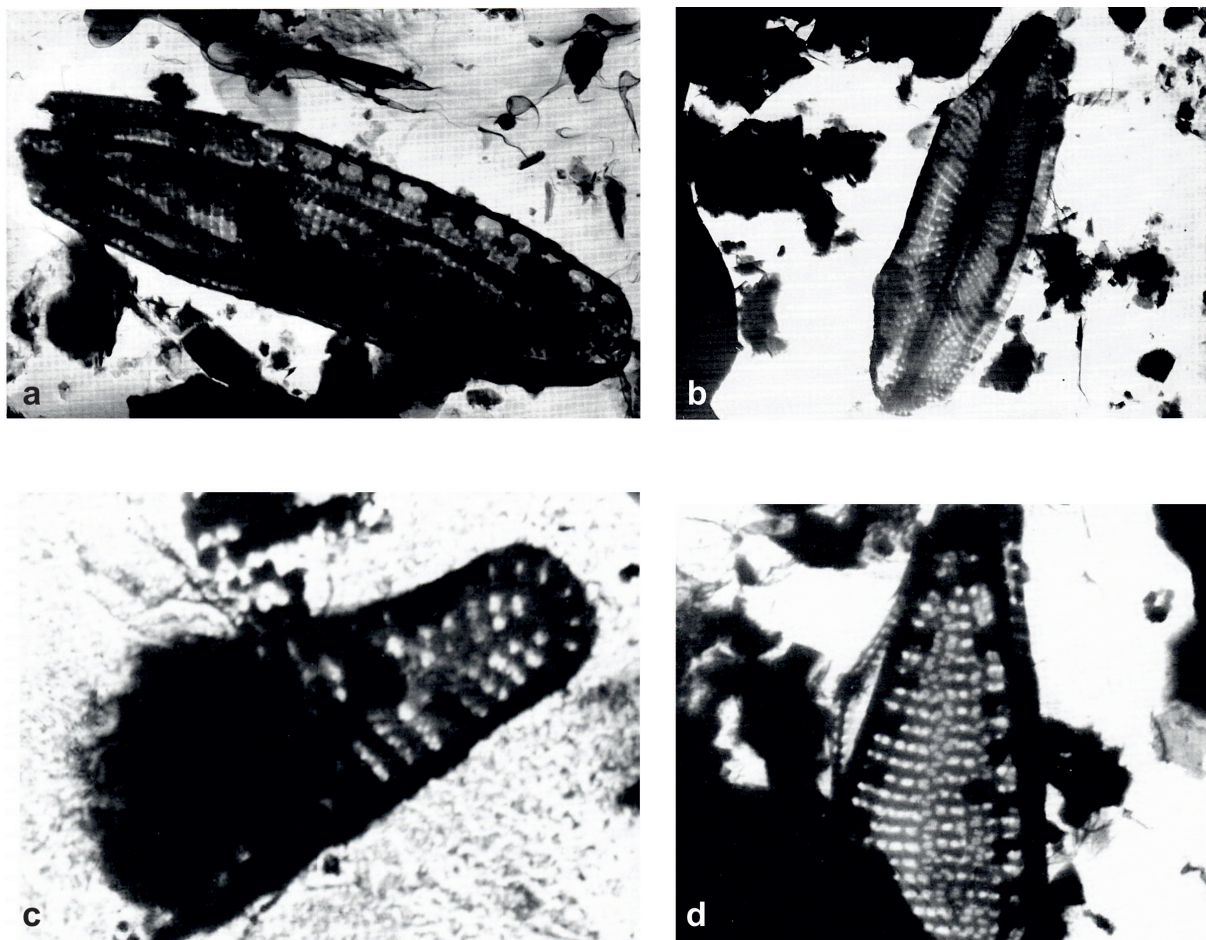
okryw (ryc. 2) znalezione w proterozoicznych marmurach z Przeworna (Siemińska 1981: 203-206; Siemińska 1980: 733-737; Siemińska i Kwiecińska 2000: 97-121).

Okrzemki mogą żyć pojedynczo lub tworzyć kolonie: nici, wstęgi, łańcuchy, gwiazdki, krzaczki oraz bezkształtne skupienia (ryc. 4). Komórki bądź też kolonie mogą żyć swobodnie, mogą również łączyć się za pomocą galaretowatej substancji lub kolców lub też przyczepić się do podłoża (Taylor i in. 2007: 6).

Cechą, która odróżnia okrzemki od innych glonów, jest dwuczęściowa okrywa (pancerzyk, skorupka) zbudowana z dwutlenku krzemu uwodnionego małą ilością wody ($\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). Zbudowany z krzemionki pancerzyk jest odporny na degradację i pozostaje w środowisku długi czas po obumarciu organizmu. Pancerzyk okrzemek składa się z kilku elementów. Są to dwie okrywy bogato ornamentowane oraz kilka mniejszych łączących je elementów tworzących tzw. pas obwodowy (ryc. 5). Ornamentacja może być w postaci otworków, prążków, żeberk i wyrostków, która jest charakterystyczna dla danego gatunku i stanowi obok kształtu i wielkości jedną z najważniejszych cech w systematyce okrzemek. Okrywy mogą mieć również podłużną szczelinę zwaną rafą, biegnącą wzdłuż

podłużnej osi symetrii. Każdy pancerzyk składa się z dwóch połówek. Starsza, większa okrywa (zwana wieczkiem) razem z połączonymi z nią elementami pasa zwana jest epiteką, natomiast młodsza, mniejsza okrywa (zwana denkiem) i połączone z nią elementy określa się mianem hypoteki.

Powierzchnia okryw jest płaska, tylko brzeg może być wygięty i niekiedy dość znacznie przedłużony, tworząc tzw. płaszcz. Pas obwodowy nie jest zrośnięty z okrywą, jedynie bardzo ściśle do niej przylega (ryc. 6). Niekiedy płaszcz jest tak silnie rozwinięty, że brak jest pasa obwodowego lub jest on bardzo wąski. U wielu gatunków między okrywą a pasem obwodowym znajduje się jedna lub kilka tzw. warstewek. Są to krzemionkowe tworzy mające kształt obręczy, które mogą być z jednej strony otwarte, półkoliste albo łuskowato zachodzące na siebie. Ilość warstewek uzależniona jest od wieku komórki. Niekiedy na wstawkach wystają do środka pancerzyka krzemionkowe blaszki, czyli przegródki (septa), dzieląc wnętrze komórki na kilka przedziałów, do których wnika protoplast. Są one równoległe do okryw, a wykształcają się albo tylko przy jednym z biegunów komórki, albo wzdłuż jej brzegów (ryc. 6) (Bąk i in. 2012: 9-12; Battarbee 1986: 527-570; Battarbee i in. 2001: 155-202; Mann 2002: 9-40).



Ryc. 2. Przykłady okryw okrzemkowych w marmurach z Przeworska (ryciny z Kwiecińska 2000: 91-92)

W wyniku zróżnicowania pancerzyka na denko i wieczko oraz pas obwodowy każda komórka okrzemek może być pokazana w dwóch pozycjach względem obserwatora. Określane są one mianem widoku od strony okrywy (wieczka, denka), gdy okrywa ustawiona jest prostopadłe względem obserwatora i widoku od strony pasa, gdy pas obwodowy jest prostopadły do obserwatora (ryc. 7).

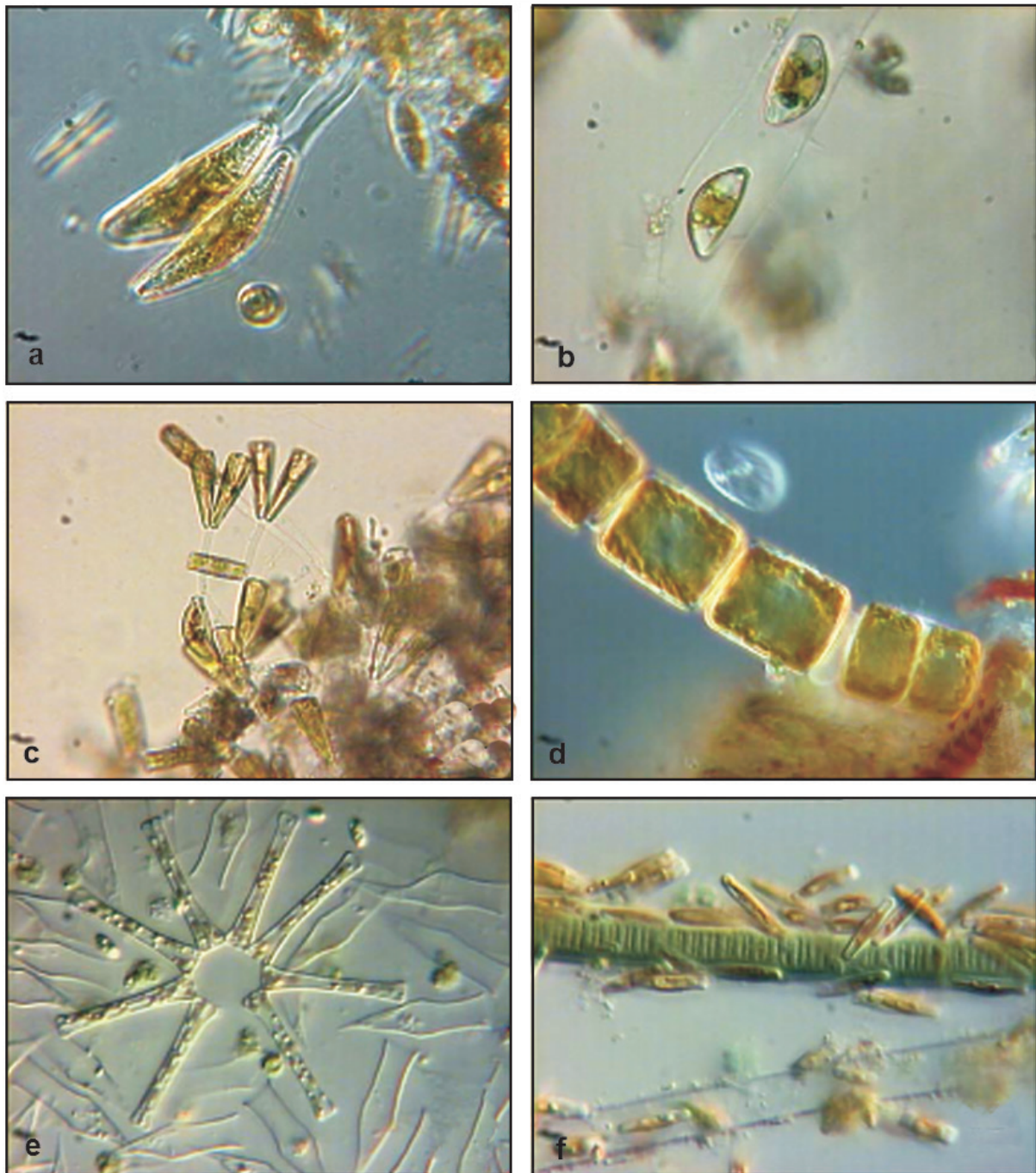
Dla właściwej identyfikacji komórki muszą być widziane od strony okrywy, chociaż w niektórych rodzajach *Chaetoceros* i *Rhizosolenia* bardziej przydatny do identyfikacji jest widok od strony pasa obwodowego (Bąk i in. 2012: 9-12).

Ułożenie prążków i kształt skorupki umożliwiły wyodrębnienie dwóch podklas: *Centricae* i *Pennatae* (ryc. 8). Okrzemki z obu tych podklas oznacza się m.in. na podstawie kształtu i ornamentacji krzemionkowych skorupki. *Centricae* mają okrywy okrągłe lub eliptyczne. Ornamentacja jest promienista, czasem nieregularna, ale ma wiele osi symetrii.

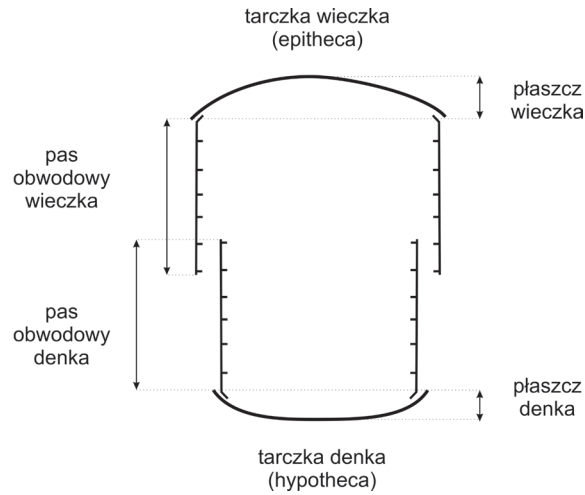


Ryc. 3. Lokalizacja obszaru badań (Kwiecińska 2000: 91-92)

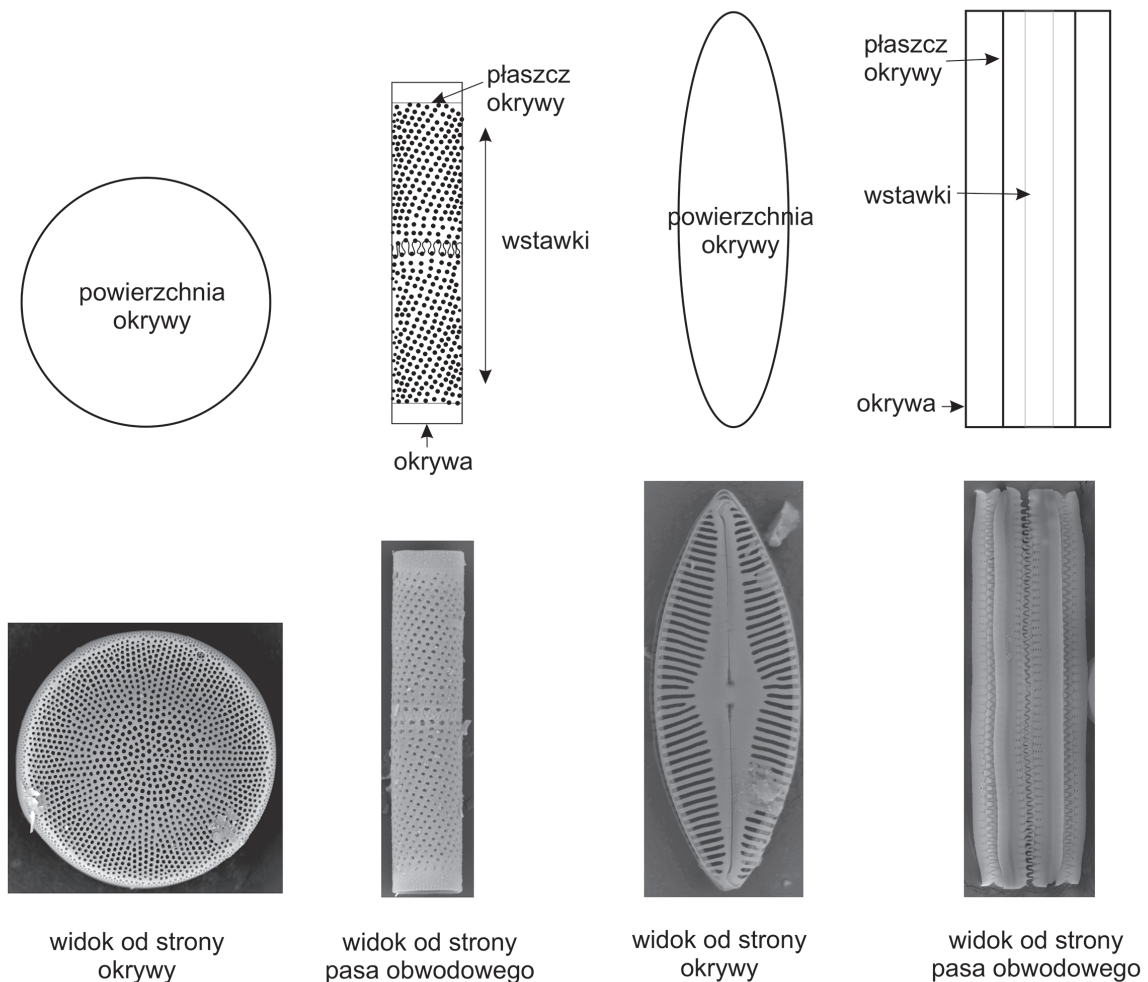
Pennatae mają podłużną szczelinę tzw. rafę lub pole podłużne. Te, które mają taką szczelinę, mogą pełzać po podłożu. Jest to bardzo duża grupa,



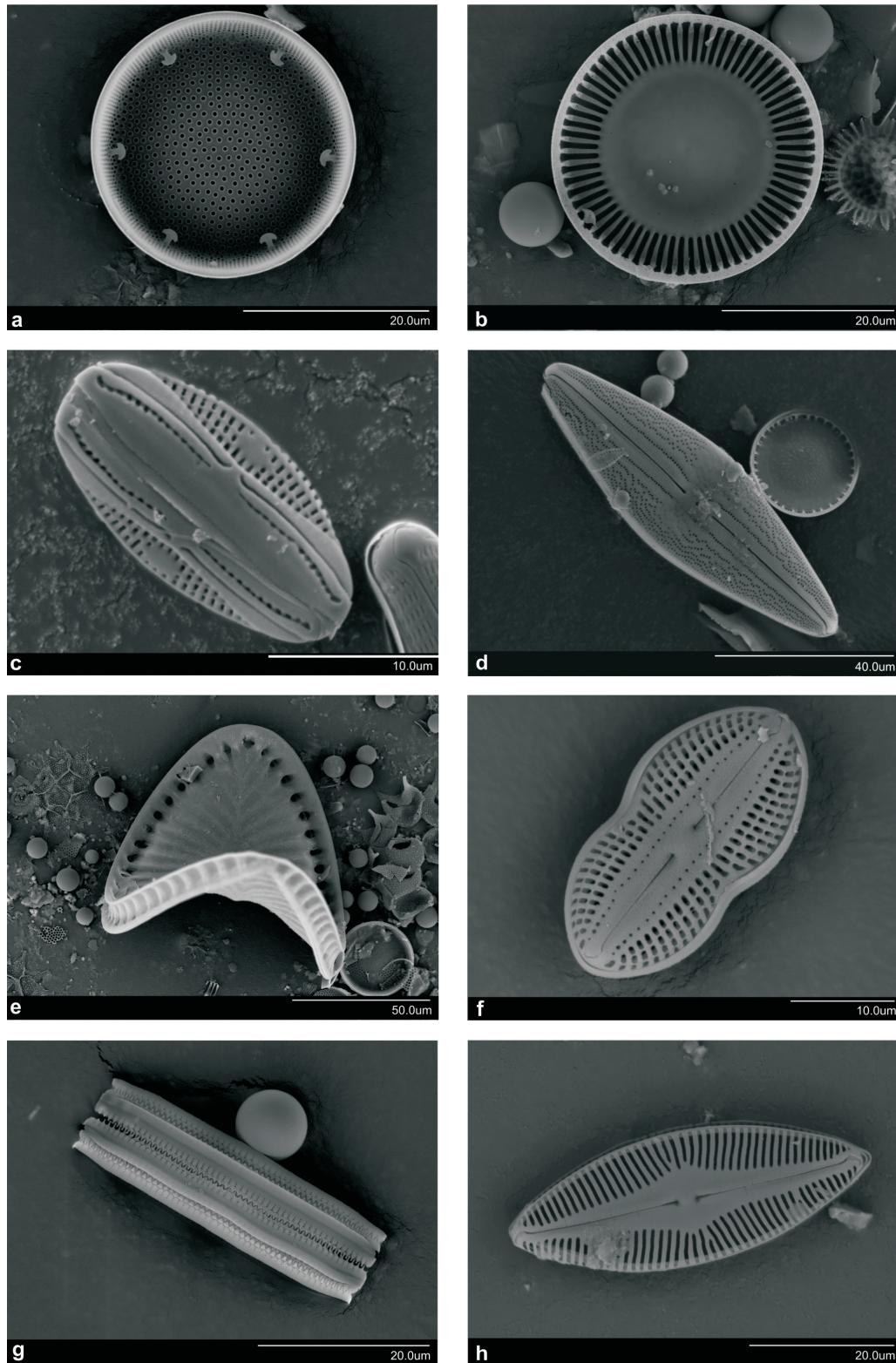
Ryc. 4. Różne formy kolonii okrzemkowych (rycina z Taylor i in. 2007: 6) (a) *Cymbella* sp. przywiązana do podłoża za pomocą łodygi ze śluzu, (b) *Encyonema caespitosum* zamieszkujące rurki ze śluzu, (c) dychotomicznie rozgałęzienia śluzowatych łodyg, do których dołączone są komórki *Gomphonema* sp., (d) *Melosira varians* z komórkami przymocowanymi do podłoża, (e) kolonie gwiazdźdźisto ułożonych okrzemek *Asterionella formosa*, (f) *Achnanthyidium minutissimum* przymocowany za pomocą kleju roślinnego do łodygi *Lyngbya* sp.



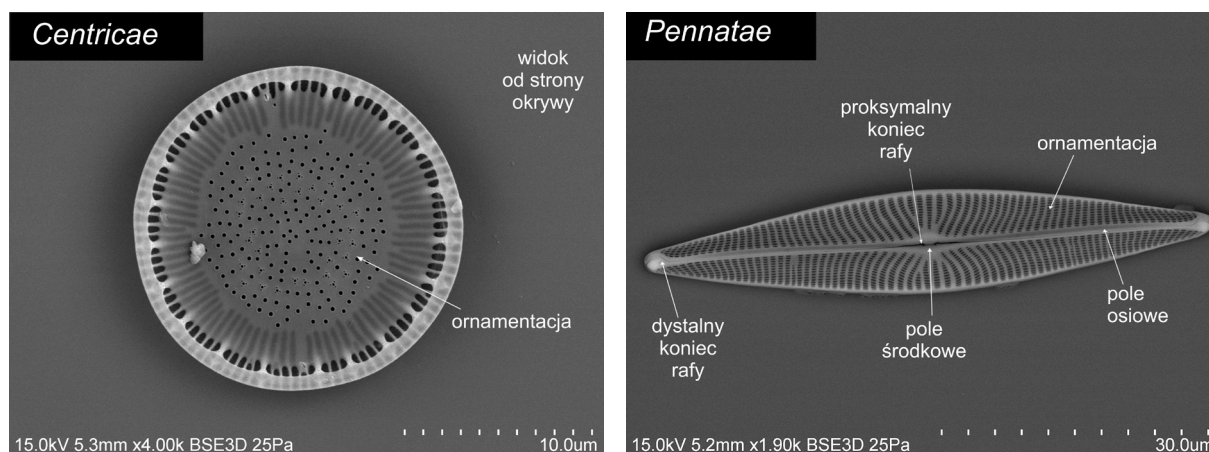
Ryc. 5. Schemat budowy pancerzyka (na podstawie Mann 2002: 17)



Ryc. 6. Cechy identyfikacyjne okryw okrzemkowych. Zdjęcia wykonano w Pracowni Mikroskopii Skaningowej i Mikroanalizy Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Fot. M. Rzodkiewicz



Ryc. 7. Przykłady kształtu różnych okryw okrzemkowych. (a) *Actinocyclus normanii* (Gregory) Hustedt (widok od środka okrywy), (b) *Cyclotella meneghiniana* Kützing, (c) *Amphora copulata* (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald, (d) *Anomoeoneis sphaerophora* f. *costata* (Kützing) Schmid, (e) *Campylodiscus clypeus* (Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing, (f) *Diploneis bombus* (Ehrenberg) Ehrenberg, (g) *Staurosira subsalina* (Hustedt) Lange-Bertalot, (h) *Navicula palpebralis* Brébisson ex W. Smith. Zdjęcia wykonano w Pracowni Mikroskopii Skaningowej i Mikroanalizy Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Preparaty napyłono złotem. Fot. M. Rzodkiewicz



Ryc. 8. Dwie główne podklasy: *Centricae* i *Pennatae* *Centricae*: *Cyclotella radiosa* (Grunow) Lemmermann, *Pennatae*: *Navicula radiosa* Kützinger. Zdjęcia wykonano w Pracowni Mikroskopii Skaningowej i Mikroanalizy Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Preparaty napylono złotem. Fot. M. Rządziejewicz

licząca około 10 tysięcy gatunków. Okrywy są lancetowate, proste, wygięte, mają pierzastą ornamentację. Można je spotkać w planktonie, w peryfitonie, w bentosie.

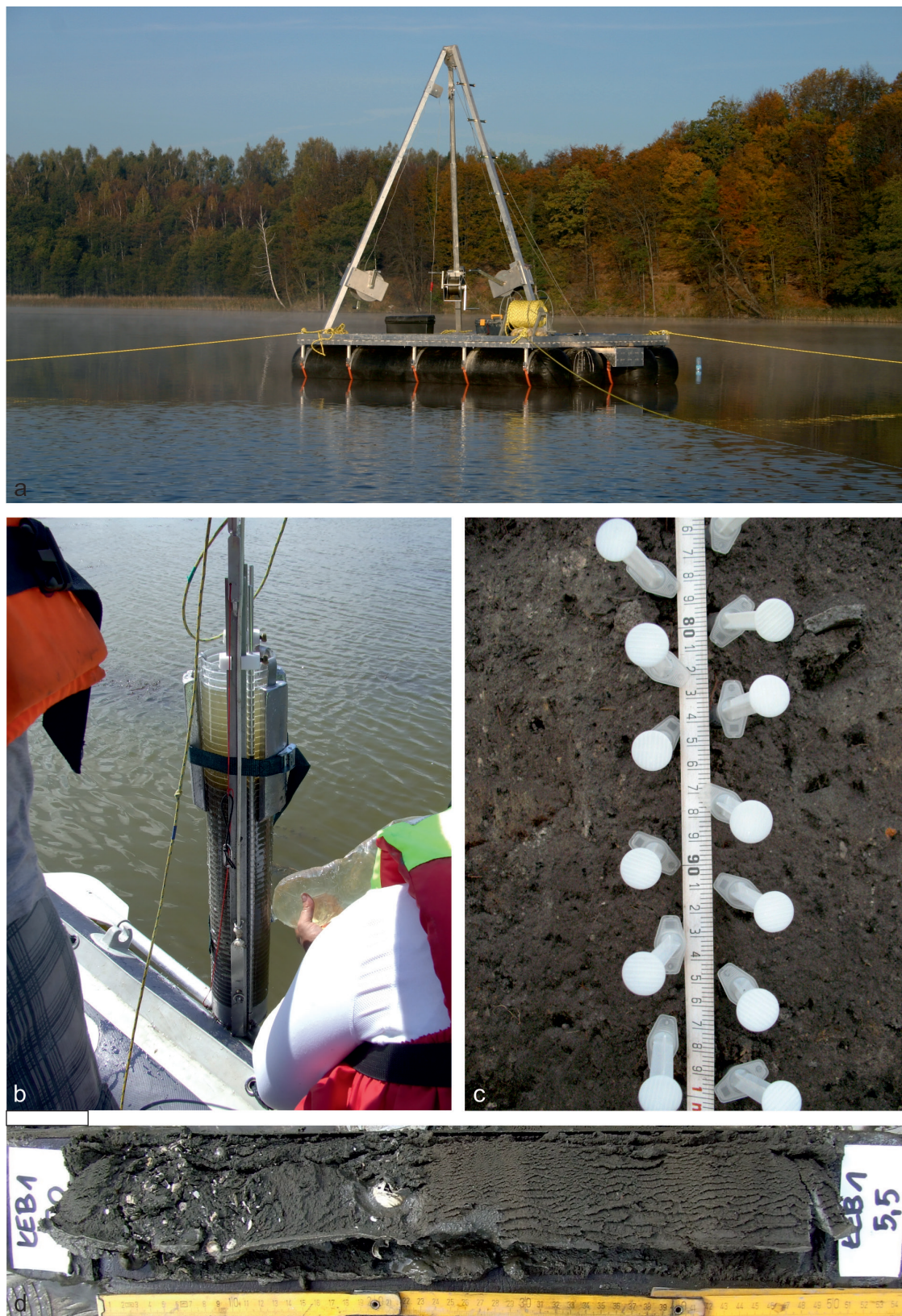
Bogactwo gatunkowe i ilościowe okrzemek zależy przede wszystkim od stopnia żyzności zbiornika. Najliczniej, zarówno pod względem ilości gatunków, jak i osobników, występują one w zbiornikach eutroficznych (o dużej dostępności substancji odżywczych), a najmniej licznie w zbiornikach oligotroficznych (ubogich w substancje odżywcze) i dystroficznych (ubogich w substancje odżywcze, ale z dużą domieszką substancji humusowych). Wysoka zawartość węglanów w wodzie, a także obfitość kwasów humusowych są dla nich niekorzystne. Obfitość okrzemek w stanie kopalnym może być więc wskaźnikiem eutrofizacji. Poza tym odmienny jest skład gatunkowy zespołów okrzemek w jeziorach o różnej żyzności.

Analizy okrzemkowe (diatomologiczne) w archeologii mogą być wykorzystywane do rekonstrukcji warunków środowiskowych, jakie istniały w okresie sedymentacji osadów badanego stanowiska archeologicznego i jego otoczenia. Ponadto mogą służyć do określania pochodzenia materiałów stosowanych do wyrobu naczyń ceramicznych i innych wyrobów z gliny odkrywanych na stanowiskach archeologicznych (Alhonen i in. 1980: 193-206; Alhonen i Matiskainen 1980: 45-62; Alhonen i Väkeväinen 1981: 67-77; Bąk i in. 2007: 233-243; Battarbee 1988: 621-644; Juggins i Cameron 2010: 514-522).

POBÓR PRÓB, PRZYGOTOWANIE I ANALIZA PREPARATÓW MIKROSKOPOWYCH

W badaniach paleoekologicznych materiał do rekonstrukcji środowiskowych pobiera się zazwyczaj w postaci rdzeni osadów za pomocą urządzeń wiertniczych (ryc. 9), (wibrosondy, sondy grawitacyjne i in.). Często wykorzystuje się też osady pobierane w profilu z odsłoneń archeologicznych. W terenie bądź później w laboratorium opisuje się rdzenie pod względem litologicznym, a następnie pobiera się próbki do analiz okrzemkowych. Gęstość opróbowania rdzeni może być różna, np. co 1 cm, 2 cm, 5 cm lub co 10 cm, w zależności od tego, jakiej dokładności oczekujemy po wynikach analizy diatomologicznej. Próbkę mogą zostać pobrane również w nieregularnych odstępach, uzależnionych np. od litologii badanego rdzenia. W przypadku próbek ze stanowisk archeologicznych możliwe jest pobieranie próbek rzadziej, np. co 5 cm, z osadów sprzed czasów osadnictwa, a gęściej, np. co 1 cm, obejmujących czasy osadnictwa. Taki sposób próbkowania stosuje się jednak niezbyt często.

Przed przystąpieniem do badań laboratoryjnych należy określić wagę próbki po wysuszeniu. Aby uniknąć powstawania agregatów, nie jest wskazane suszenie w suszarce w temperaturze przekraczającej 50°C. Próbkę należy suszyć przez dłuższy czas w temperaturze pokojowej. Jeżeli jest to możliwe, wodę odparowuje się w ciekłym azocie lub próbkę poddaje się liofilizacji. Po wysuszeniu i zważeniu



Ryc. 9. Badania terenowe. (a) platforma pływająca z sondą tłokową Uwitec (Niederreiter) do pobierania osadów jeziornych; (b) pobieranie próbek osadów przy użyciu beztłokowego próbnika grawitacyjnego Limnos; (c) pobieranie próbek osadów do analiz okrzemkowych bezpośrednio z odsłonięcia; (d) fragment rdzenia osadów jeziornych. Sprzęt terenowy znajduje się na wyposażeniu Instytutu Geoekologii i Geoinformacji Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Fot. M. Rzodkiewicz

próbek osadu przenosi się go do zlewek o pojemności min. 150 ml.

Przy identyfikacji okrzemek uwzględnia się przede wszystkim strukturę krzemionkowego pancerzyka, dlatego też w laboratorium próbki osadu poddawane są dalszej obróbce polegającej na stosowaniu stężonych kwasów lub substancji silnie utleniających.

Zestaw narzędzi:

- zlewki ze szkła borokrzemowego o pojemności np. 150-250 ml,
- szkiełka (np. zegarkowe) do przykrywania zlewek (zapobiegają zanieczyszczeniom między próbkami podczas wytrawiania materii organicznej),
- mikroskopowe szkiełka podstawowe,
- mikroskopowe szkiełka nakrywkowe,
- probówki do przechowywania przygotowanej zawiesiny (ok. 15 ml),
- pipety Pasteura lub mikropipety jednorazowe (do nanoszenia zawiesiny na szkiełka nakrywkowe),
- płyta grzewcza do podgrzewania materiału okrzemkowego i do utwardzania preparatów (umieszczona pod wyciągiem a najlepiej w dygestorium),
- odczynniki, np. HCl, H₂O₂ (wyraźnie oznaczone i prawidłowo przechowywane),
- gumowe rękawiczki,
- butelki na odpady chemiczne.

Najczęściej stosowaną metodą przygotowania preparatów mikroskopowych jest zaproponowana przez Battarbee (1986: 527-570). W celu wyeliminowania węglanu wapnia osad w zlewce zalewa się 10% kwasem solnym (HCl) w ilości ok. 10-20 ml (ryc. 10). Próbki odstawiamy na kilka godzin, od czasu do czasu mieszając zawiesinę. Jeżeli mamy duże zanieczyszczenie węglanem wapnia, wówczas możemy próbki zalane kwasem solnym zostawić na całą noc. Po zakończeniu reakcji należy przepłukać materiał wodą destylowaną. Materię organiczną usuwa się z prób, zalewając je 37% nadtlenkiem wodoru (perhydrol; H₂O₂) i podgrzewa na płycie grzejnej aż do całkowitego zaniku reakcji. Następnie próbki należy ponownie kilkakrotnie przepłukać wodą destylowaną. Można to uczynić poprzez kilkakrotne odwirowanie lub poprzez dekantację.

Oczyszczony materiał w postaci zawiesiny może być badany zarówno przy użyciu mikroskopu świetlnego, jak i skaningowego. Preparaty do mikroskopu

świetlnego przygotowuje się poprzez naniesienie kilku kropeł zawiesiny na szkiełko nakrywkowe. Preparaty trwale wykonuje się, zatapiając oczyszczone pancerzyki okrzemek w ośrodku stałym, o wysokim współczynniku załamania światła (Pleurax, Hyrax, Naphrax lub balsam kanadyjski). Obecnie najczęściej stosowany jest Naphrax o współczynniku załamania światła ~1,7 (współczynnik załamania światła okryw krzemionkowych jest zbliżony do szkła i wynosi 1,43). W ten sposób przygotowane preparaty krótko podgrzewamy na płycie grzejnej w celu usunięcia z nich pęcherzyków powietrza i resztek wilgoci. Należy unikać nakrapiania zawiesiny na szkiełka podstawowe. Z każdej próbki wykonuje się co najmniej dwa preparaty mikroskopowe o różnym stopniu zagęszczenia materiału.

Preparaty do mikroskopu skaningowego przygotowuje się z tego samego oczyszczonego materiału (zawiesiny). W zależności od liczebności okryw okrzemkowych w próbce nanosi się od jednej do kilku kropeł zawiesiny na stoliczek pokryty warstwą przewodzącą, np. węglowym plasterkiem, suszy się w temperaturze pokojowej lub przy użyciu suszarki. Następnie wysuszoną próbkę napyla się złotem lub palladem (w zależności od typu mikroskopu skaningowego, na jakim będziemy oglądać próbkę).

Każdy preparat mikroskopowy musi być natychmiast po sporządzeniu zaopatrzony w etykietę z krótko podanymi najważniejszymi danymi dotyczącymi miejsca i daty dokonania zbioru, numeru próbki.

Oczyszczony materiał przechowuje się w probówkach lub innych pojemnikach w wodzie destylowanej z dodatkiem etanolu, w stężeniu wystarczająco wysokim, aby zapobiec rozwojowi bakterii i grzybów, jak również rozpuszczeniu krzemionki.

Zaleca się stosowanie alkoholu, ponieważ formalina powoduje korozję najdelikatniejszych elementów okryw (Pliński i Witkowski 2009: 37; Taylor i in. 2007: 25).

Próbki pobrane z fragmentów ceramiki czy cegieł poddaje się podobnym procedurom separacji okryw okrzemkowych, przy czym różnica polega na długotrwałym moczeniu (nawet do kilku tygodni) w kwasie solnym, aż do całkowitego ich rozpuszczenia. Należy unikać mechanicznego rozdrabniania ceramiki, gdyż istnieje duże prawdopodobieństwo zniszczenia zawartych w nich okryw okrzemkowych, co może uniemożliwić ich identyfikację.



Ryc. 10. Etapy przygotowania preparatów okrzemkowych, (a, b) przygotowanie odpowiedniej naważki, (c, d) spalanie materii organicznej, (e) nakrapianie zawiesiny na szkiełka nakrywkowe, (f) gotowe do analiz preparaty mikroskopowe. Fot. M. Rzodkiewicz

OZNACZANIE TAKSONÓW OKRZEMEK

Okrzemki powinny być identyfikowane przy wykorzystaniu preparatów trwałych, przeglądanych pod powiększeniem co najmniej 1000×, a więc z użyciem obiektywu immersyjnego, tzn. specjalnego obiektywu do oglądania preparatów z użyciem olejku immersyjnego. Zastosowanie olejku immersyjnego powoduje zwiększenie zdolności rozdzielczej mikroskopu. Takie warunki analizy pozwalają na prawidłowe rozpoznanie cech budowy ściany komórkowej (okrywy), niezbędnych do oznaczenia taksonów okrzemek. Niezbędne jest również mierzenie komórek, w przypadku okrzemek z rzędu *Centrales* wykonuje się pomiar średnicy okrywy, a dla przedstawicieli *Pennales* zazwyczaj długość i szerokość. Dodatkowymi cechami metrycznymi jest liczba elementów ornamentacji okrywy, przeliczana najczęściej na odcinek 10 µm (prążki, punkty, lineale, areole itp.). Dlatego konieczne jest wyliczenie wartości mikrometrycznych dla każdego używanego obiektywu i okularów konkretnego mikroskopu lub stosowanie kamery i odpowiedniego programu analizy obrazu (Battarbee 1986: 527-570; Battarbee i in. 2001: 155-202).

Przy identyfikacji poszczególnych okryw okrzemkowych stosujemy opracowania w formie kluczy (m.in. Krammer i Lange-Bertalot 2011; 2010; 2008a; 2008b; Krammer 2002; Lange-Bertalot 1999; Lange-Bertalot i in. 2011; Lange-Bertalot, Genkal 1999; Lange-Bertalot i Krammer 1987; Lange-Bertalot i Metzeltin 1996).

Niezwykle istotne w badaniach diatomologicznych a zwłaszcza w kontekście rozkładu geograficznego (biogeografii), bioróżnorodności czy taksonomii okrzemek, są kolekcje porównawcze. Jedną z największych w Polsce znajduje się na Uniwersytecie Szczecińskim. Szczecin Diatom Culture Collection (SZCZ) powstała w 2013 roku w Zakładzie Paleoceanologii (Wydział Nauk O Ziemi, US) pod kierownictwem prof. dr. hab. Andrzeja Witkowskiego oraz członków jego zespołu badawczego. Kolekcja składa się z ponad 1800 szczepów okrzemek gromadzonych od 1990 roku i stale się powiększa. Zdecydowana większość wyizolowanych szczepów to gatunki bentosowe pochodzące ze strefy litoralnej rozmaitych miejsc, w szczególności jednak wybrzeży Oceanu Atlantyckiego i Indyjskiego i ich mórz marginalnych oraz zachodniego Pacyfiku ([\[geocentrum.usz.edu.pl/szczecin-diatom-culture-collection-szcz/\]\(http://geocentrum.usz.edu.pl/szczecin-diatom-culture-collection-szcz/\)\).](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

Wśród Europejskich kolekcji okrzemkowych należy wymienić najstarsze i największe z nich; są to:

- kolekcja The Natural History Museum w Londynie. Jest to największa i najstarsza kolekcja na świecie, zawiera ponad 300 000 okazów zgromadzonych od początku XIX w. do dzisiaj, (<https://www.nhm.ac.uk/our-science/collections/botany-collections/diatom-collections.html>);
- kolekcja Natural History Museum of Denmark. Kolekcja liczy około 400 000 gatunków obejmujących wszystkie grupy taksonomiczne glonów z różnych części świata. Kolekcja skupia się na makroglonach, a wśród mikroalg na okrzemkach z bardziej ograniczonymi kolekcjami innych grup mikroalg. Znajdują się tam okazy z niemal całej Danii oraz z Grenlandii, Islandii, Wysp Owczych, Wysp Kanaryjskich, Indii Zachodnich i Skandynawii (<https://samlinger.snm.ku.dk/en/dry-and-wet-collections/botany/algal-herbarium/>);
- kolekcja Hustedt Diatom Collection (przedtem Hustedt Arbeitsplatz für Diatomeenkunde), która znajduje się w Alfred-Wegener Institute Helmholtz-Zentrum für Polar und Meeresforschung, Bremerhaven. Jest to największa prywatna kolekcja i biblioteka Friedricha Hustedta przekazana Instytutowi w latach 60. XX w. Większa część kolekcji to owoce pracy Friedricha Hustedta. Pozostawił ponad 60 000 preparatów mikroskopowych i ponad 20 000 próbek materiału (suszonego lub na glicerynie). Zielnik Hustedta jest stale powiększany i obejmuje zbiory dr. Reimera Simonsena, dr. Dietricha Königa, prof. dr. Grethe Hasle oraz indywidualne preparaty innych pracowników. Kolekcja rozrosła się do ponad 100 000 slajdów i 50 000 próbek materiałów wraz z aktualną biblioteką (<https://www.awi.de/en/science/biosciences/polar-biological-oceanography/main-research-focus/hustedt-diatom-study-centre/diatom-collection.html>);
- kolekcja Royal Botanic Garden w Edynburgu. Okazy gromadzone są od 1850 r. i obecnie zbiory obejmują około 50 000 preparatów. Kolekcja pochodzi głównie z Wielkiej Brytanii, ze znaczącymi zbiorami z Europy, Azji i innych krajów (<https://www.rbge.org.uk/science-and-conservation/herbarium/our-collections/diatoms/>).

ZASTOSOWANIE ANALIZY OKRZEMKOWEJ DO OKREŚLENIA POCHODZENIA GLINY I CERAMIKI

Analizę okrzemkową w badaniach archeologicznych z powodzeniem stosuje się od ponad 70 lat. Bezpośrednie jej zastosowanie najlepiej widoczne jest w badaniach artefaktów archeologicznych (m.in. ceramiki), ponieważ okrywy okrzemkowe nie ulegają zniszczeniu w procesie wypalania gliny (Juggins i Cameron, 2010: 514-522; Ognjanova-Rumenova 2008: 291-294). Zatem analiza okrzemkowa oferuje nową i potencjalnie skuteczną metodę identyfikacji źródeł gliny, jak również ustalenia pochodzenia gotowej ceramiki (Alhonen i in. 1980: 193-206; Jansma 1990: 301-309; 1984: 529-536; 1982: 229-236; 1981: 145-162; 1977: 77-85). Niestety metoda ta nie jest do końca pozbawiona wad z kilku powodów. Koncentracja okrzemek w ceramice może być bardzo niska, a okrywy słabo zachowane (Håkansson, Hulthén 1988: 39-45; 1986: 34-38; Ognjanova-Rumenova 2008: 291-294). Ponadto okrzemki mogą pochodzić z innych źródeł, a nie z samej gliny (Alhonen i Matiskainen 1980: 45-62; Gibson 1986: 129-143). Jednak głównym ograniczeniem tej metody jest brak jednoznacznego powiązania ceramiki ze złożem gliny. Do pełnej interpretacji wyników analizy okrzemkowej konieczna będzie znajomość składu okrzemkowego glin źródłowych (Juggins i Cameron 2010: 514; Ognjanova-Rumenova 2008: 293). Gdy takie informacje zostaną uzyskane, analiza wyrobów ceramicznych pod względem zawartości okrzemek będzie stanowić wielką pomoc przy interpretacji archeologicznej w kwestiach typologii, technologii i dróg transportu (Alhonen i in. 1980: 193-206), wyboru surowca (Alhonen i Matiskainen 1980: 147-157; Gibson 1986: 129-143; Jansma 1981: 145-162; Matiskainen i Alhonen 1984: 147-157), autochtonicznych składowych artefaktów archeologicznych (VanLandingham 2006: 101-116), przemieszczania i handlu surowcami lub towarami przemysłowymi (Alhonen i Väkeväinen 1981: 67-77; Jansma 1990: 301-309; 1977: 77-85).

Analizy okrzemkowe mogą również dostarczać dowodów na temat kontaktów między społecznościami prehistorycznymi oraz ich wędrówek (Alhonen i Väkeväinen 1981: 67-77). Wyroby garncarskie ze stanowisk położonych w głębi lądu zawierające okrzemki morskie mogą dostarczać

dowodów na transport i handel z rejonów nadmorskich. Ponadto analiza okrzemkowa ceramiki w połączeniu z wiedzą na temat regionalnej stratygrafii może posłużyć do wykazania, że glina lub wyroby ceramiczne były importowane na wyspy lub obszary przybrzeżne z kontynentu lub z głębi lądu. Interesującego przykładu odtwarzania dróg transportu i handlu naczyniami garncarskimi dostarczyły badania stanowiska subneolitycznego na Wyspach Ålandzkich na Morzu Bałtyckim. W głębi lądu natrafiono na wyroby ceramiczne wykonane z gliny zawierającej okrzemki słodkowodne typowe dla słodkowodnego Jeziora Ancylusowego, które zajmowało basen Bałtyku przed transgresją litorynową (Alhonen i Väkeväinen 1981: 67-77; Matiskainen i Alhonen 1984: 147-157). Na Wyspach Ålandzkich gliny Ancylusowe nie występują, w związku z tym albo gotowa ceramika, albo surowiec były importowane z lądu. Ponadto obecność naczyń o podobnym stylu i koncentracji okrzemek zidentyfikowano w osadach mułkowych z okolic Turku w południowej Finlandii, co sugeruje możliwy obszar pochodzenia gliny na kontynencie fińskim.

Oprócz analizy artefaktów archeologicznych analiza okrzemkowa może posłużyć również do identyfikacji źródła starożytnych materiałów budowlanych. Na przykład Flower (2006: 245-263) przeanalizował skład okrzemkowy próbek z cegieł błotnych użytych do budowy starożytnej egipskiej świątyni w Dimai w dolinie Nilu, datowanej na około 5000 lat p.n.e. Porównanie wyników analizy okrzemkowej z lokalnymi osadami ujawniło, że cegły były wykonane z ziemi okrzemkowej, która nagromadziła się w pobliskim dużym, płytkim jeziorze.

STANOWISKA ARCHEOLOGICZNE – ANALIZA OSADÓW

Wiedza o pochodzeniu, stratygrafii i środowisku depozycyjnym osadów ma fundamentalne znaczenie dla archeologa w przypadku późniejszych analiz. Pierwotne lub położone *in situ* osady zawierają florę okrzemkową charakterystyczną dla warunków, jakie panowały w trakcie akumulacji osadów, i stosunkowo łatwo jest ten skład odróżnić od warunków czy osadów wtórnych lub przerobionych. Zatem analizy okrzemkowe mogą posłużyć do identyfikacji pochodzenia osadów, jak również charakterystyki

lokalnych środowisk depozycyjnych. Na przykład gdy na badanym stanowisku nie zaistniała możliwość bezpośredniej akumulacji osadów morskich lub erozji osadów starszych, to obecność taksonów morskich może stanowić dowód różnej działalności gospodarczej człowieka, takie jak solanki (Juggins 1992b: 4-5), zbieranie i wykorzystywanie skorupiaków (Denys 1992: 195-197) lub formowanie mat z alg (Foged 1985: 471-482).

Okrzemki słone lub słonawe stanowią dowód istnienia osadów powodziowych na obszarach przybrzeżnych, natomiast różnice w proporcjach allochtonicznych taksonów morskich można wykorzystać do wnioskowania o intensywności wezbrań sztoromowych, powodzi czy fal typu tsunami (Piotrowski 2007a: 77-78; 2007b: 58-60; Piotrowski i in. 2017: 973-986; 2015: 415; Piotrowski i Gałczyńska 2003: 9-19; Szczuciński 2008: 119-125), co z kolei mogło powodować opuszczanie terenów zamieszkania (Cameron 2013: 516-521; Jansma 1990: 301-309; 1982: 229-236; 1981: 145-162).

Dobrze ilustruje to zastosowanie analizy okrzemkowej do identyfikacji epizodów zalewowych na południowym wybrzeżu Waszyngtonu (USA) w czasach prehistorycznych (Cole i in. 1996: 165-177). Badania prowadzono na kilku stanowiskach archeologicznych zlokalizowanych wzdłuż wybrzeża. Horyzonty zdarzeń datuje się na okres od 1000 do 1700 n.e., próbki znaleziono w warstwie gleby leśnej, przykrytej cienką warstwą piasku oraz około 1 m warstwą osadu morskiego. Obecność okrzemek morskich i brakicznych (słonawowodnych) w osadach piaszczystych została uznana za osady typu tsunami (Hemphill-Haley 1996: 439-448), podczas gdy okrzemki w osadach powyżej sugerują akumulację osadów brakicznych po zalaniu terenu (Hemphill-Haley 1995: 367-378). Dowody na zalewanie tych terenów przez tsunami około 300 lat temu sugerują, że wiele miejsc w obecnej strefie pływów leży pogrzebanych i pomaga wyjaśnić brak pozostałości archeologicznych na obszarze, który był zamieszkiwany przez stosunkowo dużą populację tubylców we wczesnych czasach historycznych.

Winsborough i in. (2012: 602-614) podają inny, bardziej bezpośredni przykład katastrofalnych powodzi, które wpłynęły na osadę Pachacamac z wybrzeża Peru. Przebadane zostały rdzenie osadów pobranych wzdłuż wybrzeża laguny Urpi Kocha. W badaniach oprócz okrzemek zostały użyte też

inne wskaźniki biologiczne, jak pyłek i makrofity. Wyniki analiz dostarczyły dowodów na cztery katastrofalne powodzie występujące naprzemiennie z poważnymi suszami na wyżynach Andów w ciągu ostatnich 2000 lat.

Analizy okrzemkowe osadów jeziornych są wykorzystywane do badania wpływu społeczności ludzkich na środowisko, zwłaszcza na jakość wody (eutrofizację kulturową) (Douglas i in. 2004: 1613-1617; Fritz 1989: 182-202; Gillson i Ekblom 2009: 171-185; Haworth 1985: 60-79; Mannion 1987: 131-147; Miller i in. 2004: 287-298; Renberg i in. 2001: 496-502; Whitmore i in. 1996: 273-287). Ponadto mogą ujawniać wpływ mieszkańców na zanieczyszczenie lokalnych zbiorników wodnych przylegających do stanowisk archeologicznych lub znajdujących się w ich obrębie (Beneš i in. 2002: 107-120; de Wolf i Cleveringa 1996: 496-502; Ekdahl i in. 2007: 233-246; 2004: 745-748; Keevill 2004: 315).

Analiza okrzemkowa osadów archeologicznych może również pomóc w interpretacji funkcji różnych struktur archeologicznych. Na przykład Godbold i Turner (1993) zidentyfikowali okrzemki morskie w strukturach ujścia rzeki Severn w Wielkiej Brytanii, co pomogło w określeniu funkcji tych struktur. Wyniki badań pozwoliły wywnioskować, że wykorzystywane były jako pułapki na ryby. Natomiast obecność taksonów słodkowodnych struktury podobnej do dołu w Tehuacan Valley of Puebla w Meksyku pozwoliła na zidentyfikowanie tych struktur jako studni słodkowodnej (Neely i in. 1995: 38-40).

REKONSTRUKCJE PALEOŚRODOWISKOWE

Znajomość lokalnego środowiska obszaru badań jest niezbędna, aby zrozumieć jego funkcję społeczno-gospodarczą. Szczególnie ujścia rzek są bogate w pozostałości archeologiczne. Mokradła i ujścia rzek mają bogate zasoby naturalne, a ich żeglowne wody zapewniły szlaki dla kupców i najeźdźców, zachęcając do rozwoju handlu i osadnictwa obronnego. Wiele miast świata rozwinęło się w ujściach rzek ze względu na ich znaczenie jako portów. Historyczny i prehistoryczny rozwój tych osad jest więc ściśle powiązany ze zmieniającymi się środowiskami ujść rzek, a analiza okrzemek może stanowić potężne narzędzie do badania powiązań między

morzem, szlakami żeglugowymi i handlowymi oraz ekonomiczną i militarną funkcją brzegów i nadbrzeży miejskich. Przykładem może być analiza okrzemkowa wykorzystana do rekonstrukcji środowiska osadowego wraków statków lub innych izolowanych struktur i artefaktów w celu zrekonstruowania lokalnych zmian poziomu morza na obszarach przylegających do estuariów (Battarbee i in. 1985: 111-120; Cameron 1997: 117-128; Clark 2004: 340; Foged 1973: 39-45; Marsden i in. 1989: 89-111; Miller 1995: 5-58; Miller i Robertsson 1981: 167-173; Nayling i McGrail 2004: 350; Wilkinson i in. 1988: 213-238) lub zmiany jakości wody w rzece i wpływu pływów na obszary miejskie (Demiddele i Ervynck 1993: 217-231; Juggins 1992a: 216).

Szczególnie dobry przykład pochodzi z badań nad Tamizą w centrum Londynu (Juggins 1992a: 216; Milne i in. 1983: 19-30). Tamiza jest teraz przepływem do Teddington Weir, 30 km nad City of London, ale istnienie pozostałości rzymskich 4 m poniżej obecnego poziomu przypływu doprowadziło archeologów do przypuszczenia, że we wczesnym okresie rzymskim w centrum Londynu rzeka była bez wody (I w. n. e.; Willcox 1975: 185-192). W obrębie miasta przedrzymski brzeg leży teraz około 100 m na północ od obecnego brzegu rzeki, a pozioma stratygrafia drewnianych i kamiennych nabrzeży i umocnień brzegowych obejmująca ostatnie 2000 lat jest zachowana pod nowoczesnym nabrzeżem. Wstępna analiza okrzemek osadów przybrzeżnych związanych z częścią I w. n.e. na stanowisku Pudding Lane wykazała dominację planktonicznej *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow, gatunku powszechnego w dzisiejszych czasach dla wód słonawych. Ten takson, wraz z wieloma formami morskimi, dowodzi, że wbrew powszechnemu przekonaniu rzeka płynęła w środkowej części Londynu we wczesnym okresie rzymskim (Milne i in. 1983: 19-30). Zbadano również próbki przybrzeżne z I do XII wieku naszej ery i zastosowano rekonstrukcje zasolenia przy użyciu funkcji transferu (Juggins 1992b: 216). Wyniki wskazują na początkowy gwałtowny wzrost średniego zasolenia między I a II w. n.e., po którym następuje bardziej stopniowy wzrost od IX do XII w. Porównanie zrekonstruowanego paleozasolenia ze zmianami w zakresie pływów sugeruje, że wzrost zasolenia między I a XII w. był przede wszystkim wynikiem względnego wzrostu poziomu morza.

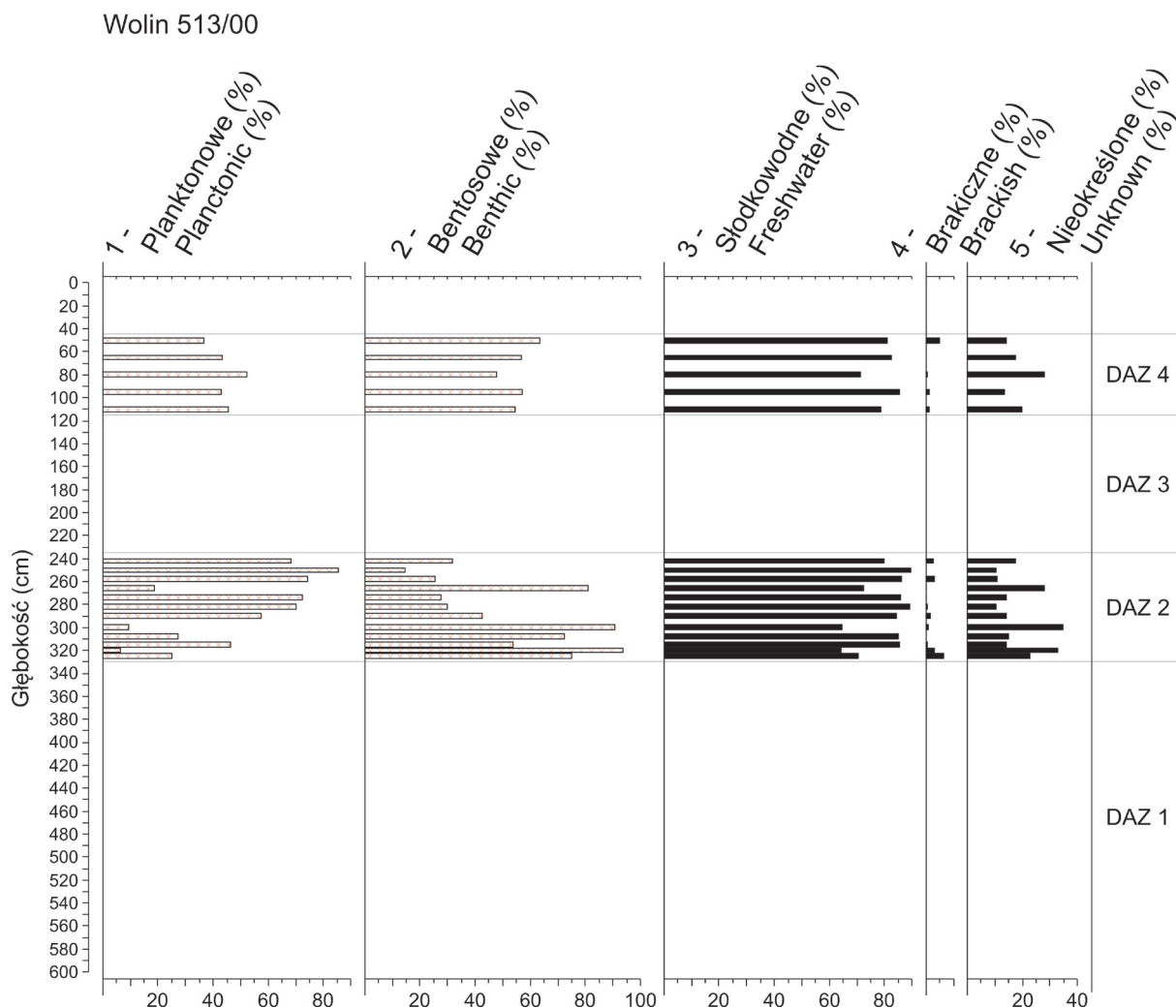
WYBRANE PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ANALIZY OKRZEMKOWEJ W BADANIACH ARCHEOLOGICZNYCH Z OBSZARU POLSKI

Zastosowanie analizy okrzemkowej przez archeologów w ostatnim czasie nabiera coraz większego znaczenia. Badania Bogaczewicz-Adamczak i in. (1987) na Pojezierzu Kaszubskim (Kępa Ostrowska) umożliwiły rekonstrukcję zmian środowiskowych, jakim podlegał region badań. Analizy okrzemkowe przeprowadzono na stanowiskach archeologicznych obejmujących osadnictwo mezolityczne i neolityczne, na terenie Kępy Ostrowskiej i Błot Karwieńskich. Wyniki analizy wykazały powstanie w wyniku transgresji, w okresie subborealnym, jeziora przymorskiego. Odcięte od otwartego morza mierzeją uległo następnie przekształceniu w torfowisko. W ostatniej fazie zaobserwowano rozwój procesów eolicznych, w rezultacie których utworzyły się wydmy. Wyniki analizy okrzemkowej pozwoliły wykazać wzrost poziomu wody, który uznano za przyczynę przemieszczania ludzkich siedlisk.

Kolejnym przykładem są badania prowadzone w rejonie wczesnośredniowiecznego Wolina (Borówka i in. 2014: 25-49). Analiza diatomologiczna wykazała, że w dolinie Dziwny istniał w przeszłości dość rozległy zbiornik jeziorny, w obrębie którego stwierdzono bardzo wyraźne wahania poziomu wody (ryc. 11). Wzrost poziomu wody mógł być spowodowany co najmniej dwoma czynnikami: (1) podniesieniem się poziomu morza u wybrzeży południowego Bałtyku oraz (2) kompaktacją holocenijskich osadów jeziornych zalegających pod torfami, w wyniku obciążenia ciężkimi konstrukcjami drewnianymi znanymi z wykopalisk oraz ich eksploatacją.

Najprawdopodobniej w I. poł. X w. część płaskich obszarów nadbrzeżnych wydawała się atrakcyjna dla ówczesnego budownictwa. Jednak zaraz po ich zajęciu okazało się, że jednoczesny wzrost poziomu wody w Dziwnie oraz obniżanie powierzchni gruntu wskutek osiadania zamieniły obszary przybrzeżne w obszary bagienne, często zalewane w okresach spiętrzeń sztormowych wód w Zatoce Pomorskiej i jednoczesnych wysokich cofek w samej Dziwnie.

W ramach projektu „Rozwój pradziejowych i historycznych systemów osadniczych i gospodarczych a holocenijskie przekształcenia rzeźby na przykładzie Środkowej Obry” (2P04E01630, kierownik prof. UAM dr hab. Iwona Hildebrandt-Radke, UAM Poznań) multidyscyplinarnym analizom

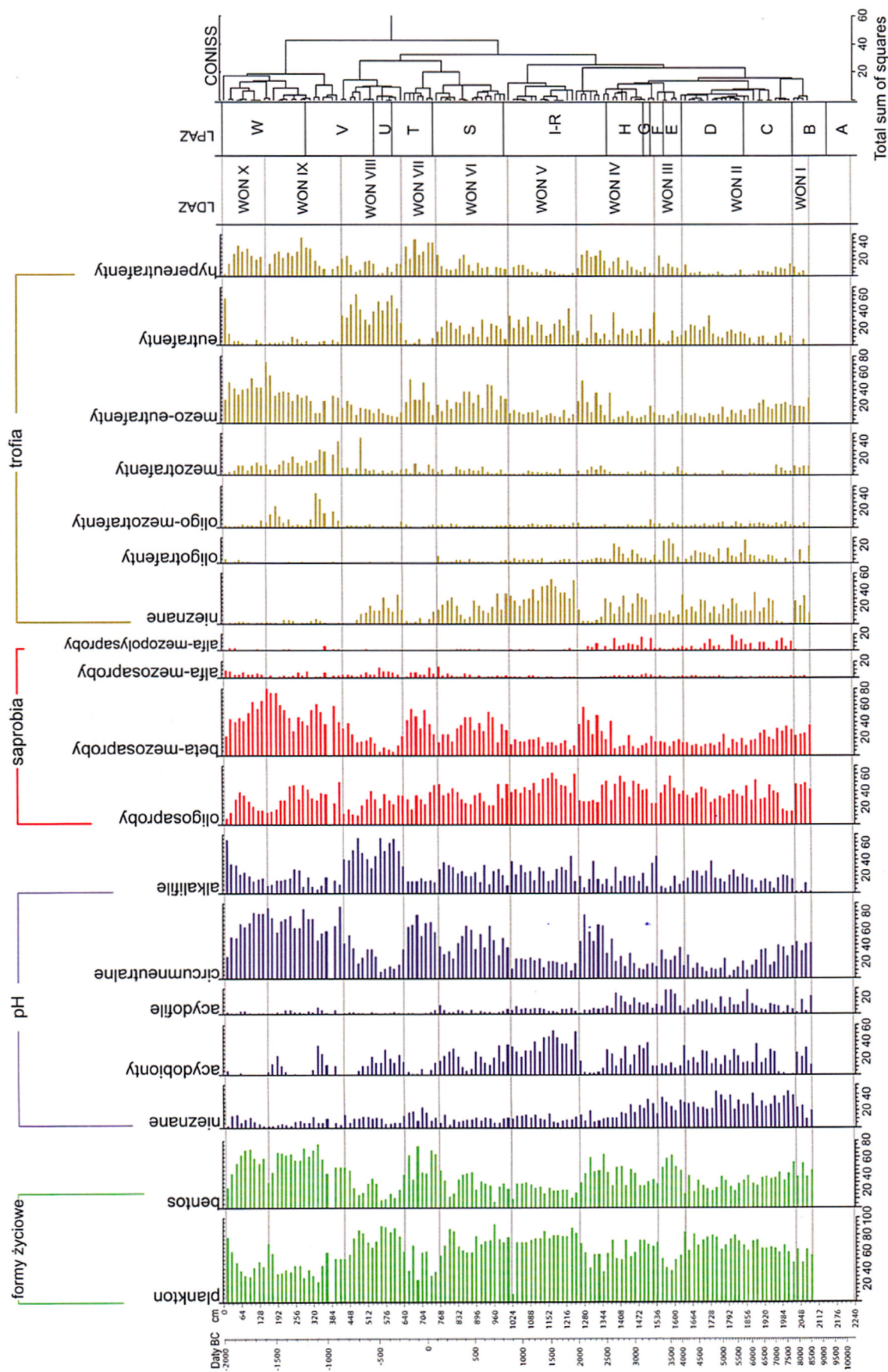


Ryc. 11. Stanowisko 513/00 (Wolin) – stratygraficzne zmiany zawartości wybranych grup ekologicznych okrzemek (analiza M. Rzodkiewicz (wcześniej jako Lutyńska) rycina z Borówka i in. 2014: 25-49)

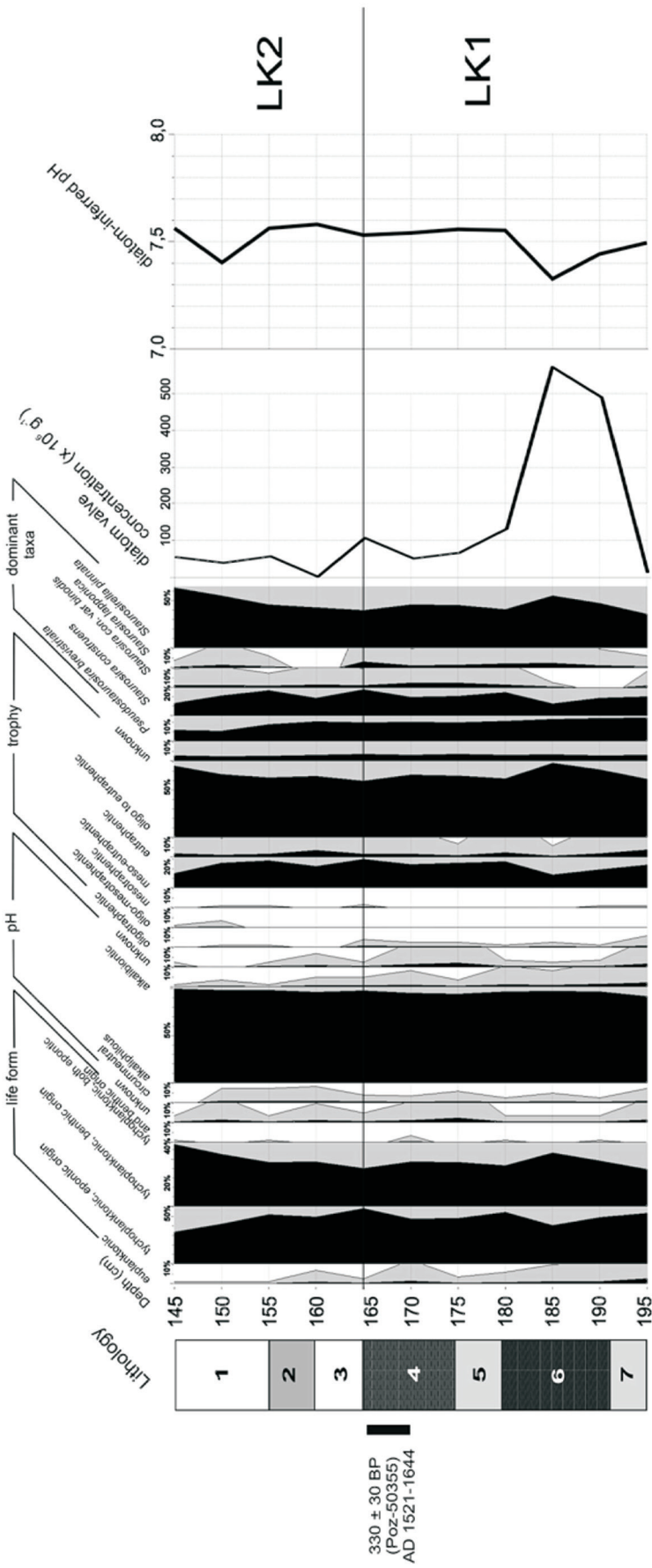
poddane zostały osady ze stanowiska wczesnej epoki brązu – Bruszczewo 5, stanowisko archeologiczne w Kielczewie nr 45 reprezentujące osadnictwo z neolitu (kultura pucharów lejkowatych) i okresu wpływów rzymskich oraz cmentarzysko kurhanowe z wczesnej epoki brązu w Łękach Małych (Hildebrandt-Radke 2013: 26). Ponadto przebadano osady jeziora Wonieść (Równina Kościańska, Pojezierze Wielkopolskie), aby rozpoznać, jak w skali regionalnej zapisują się antropogeniczne przemiany środowiska. Badania flory okrzemkowej osadów jeziora Wonieść umożliwiło rekonstrukcję rozwoju jeziora. Ponadto rozpoznano okresy o podwyższonej eutrofizacji zbiornika, związanej z działalnością człowieka na tym obszarze (ryc. 12). Zauważono, że wzrost udziału okrzemek eutroficznych przypadał na okresy odlesienia, natomiast spadek zawartości okrzemek eutroficznych na fazy regeneracji

lasów (Dörfler i in. 2009a: 147-150; 2009b: 59-78; Hildebrandt-Radke 2013: 166; Hildebrandt-Radke i in. 2011a: 173-188; 2011b: 92-97).

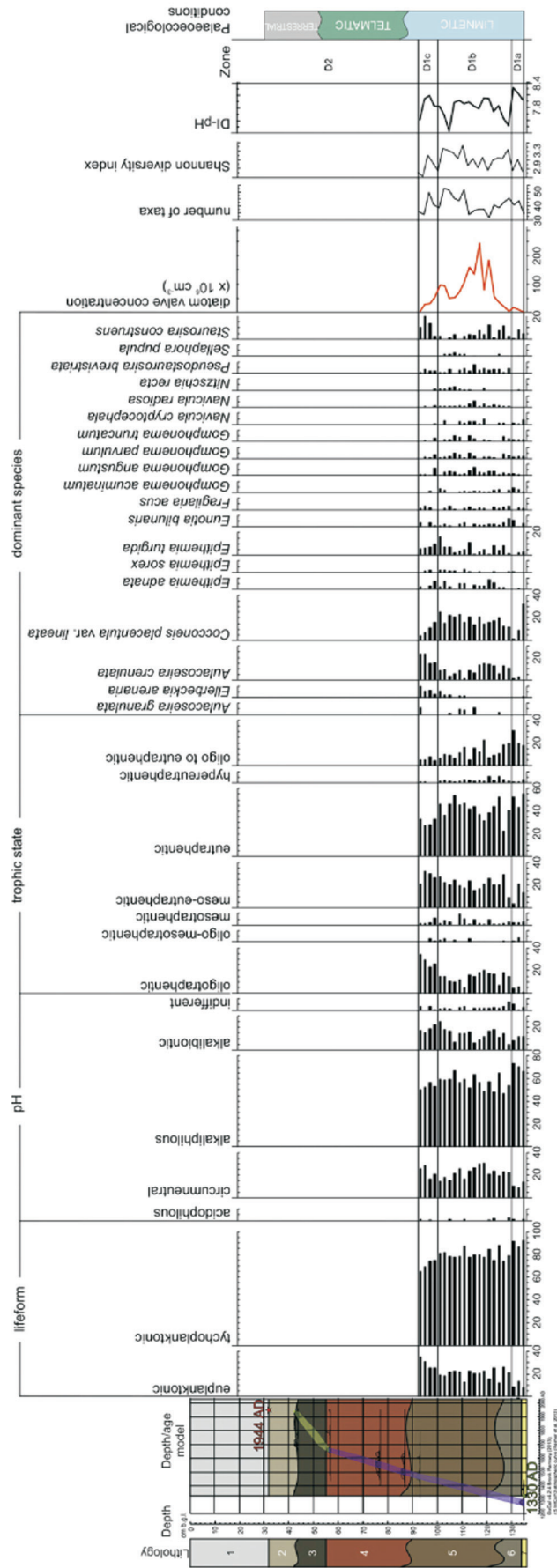
„Opracowanie materiałów ze stan. 3a-c Lutomiernsk – Koziówki (Polska Centralna)” (1080/11/FPK/NID, kierownik dr hab. Piotr Kittel) dotyczyło wielokulturowego stanowiska archeologicznego datowanego od schyłkowego paleolitu po okres współczesny (Kittel 2012: 58). Multidyscyplinarne badania wykazały istnienie moczydła z dużą zawartością szczątków makroskopowych i pyłku konopii (*Cannabis*) i lnu (*Linum*). Zbiornik ten był najprawdopodobniej wykorzystywany jako retuszer do produkcji konopii i włókna lnianego. Na podstawie analizy okrzemkowej określono zmiany paleoekologiczne moczydła oraz wykorzystano funkcję transferu do rekonstrukcji pH zbiornika (ryc. 13) (Kittel i in. 2014: 318-337).



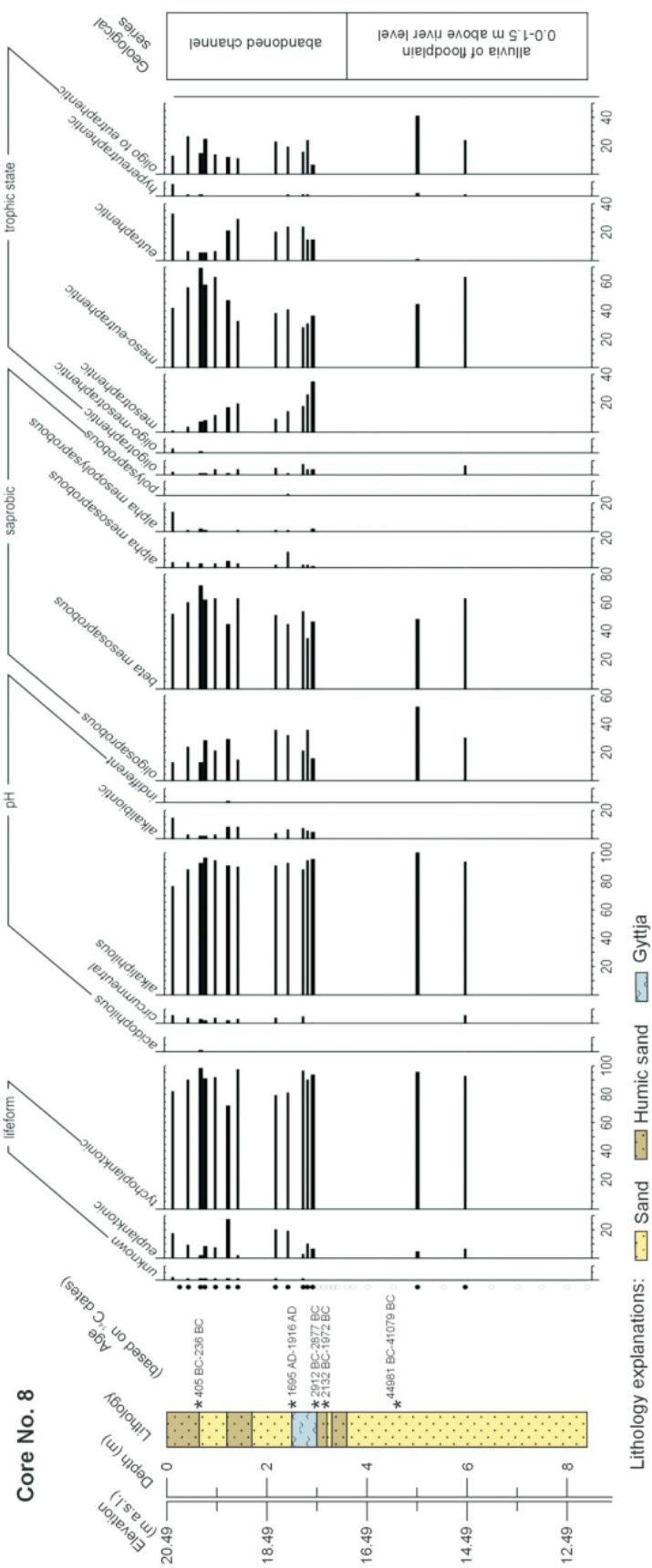
Ryc. 12. Formy życiowe okrzemek oraz preferencje pH, saprobii i trofy w składzie okrzemkowym profilu osadów z jeziora Wnieść (analiza M. Rzodkiewicz (wcześniej jako Lutyńska) rycina z Hildebrandt-Radke 2013: 122)



Ryc. 13. Analiza okrzemkowa osadów ze stanowiska Lutomiersk-Koziówki wraz z rekonstrukcją pH (analiza M. Rzedkiewicz (wcześniej jako Lutyńska), rycina z Kittel i in. 2014: 318-337)



Ryc. 14. Analiza okrzemkowa osadów rdzenia RP W3 O2 (analiza M. Rzodkiewicz, rycina z Kittel i in. 2018: 131-156)



Ryc. 15. Analiza okrzemkowa osadów rdzenia nr 8 ze stanowiska wczesnośredniowiecznego w Santoku (analiza M. Rządkiwicz, rycina z Zamelska-Monczak i in. 2021: 978-1008)

Natomiast projekt „Uwarunkowania środowiskowe rozwoju średniowiecznego ośrodka grodowego w Rozprzy w Polsce Środkowej w świetle badań multidyscyplinarnych” (2013/11/B/HS3/03785, kierownik dr hab. Piotr Kittel, UŁ Łódź) dotyczył szczegółowego rozpoznania uwarunkowań środowiskowych lokalizacji wczesnośredniowiecznego grodziska w Rozprzy oraz paleogeografii doliny Luciąży w późnym holocenie. Analizom okrzemkowym poddano wypełnienia fosy w jej najgłębszym miejscu. Analizy diatomologiczne dowodzą, że w początkowej fazie (XIV-XV w.) fosa stanowiła płytki zbiornik, w którym dominowały okrzemki litoralne. Analiza trofii wykazała wzrost liczebności gatunków charakterystycznych dla wód eutroficznych oraz podwyższony udział taksonów charakterystycznych dla wód mezoeutroficznych (zbiorniki o średniej żyzności i niezbyt dużej ilości substancji biogennych i organicznych) (ryc. 14). Rekonstrukcja pH na bazie funkcji transferu wykazała, że sedymentacja osadów w badanej fosie zachodziła w środowisku o podwyższonym pH (Kittel i in. 2018: 131-156).

Kolejnym przykładem jest wykorzystanie analizy okrzemkowej w celu zidentyfikowania okresów powodziowych na obszarze wczesnośredniowiecznego grodziska w Santoku (Zamelska-Monczak i in. 2021: 978-1008; Rzodkiewicz i in. 2018a: 1128-1129; 2018b: 34). Badania realizowane były w ramach projektu badawczego „Warunki przyrodnicze i charakter antropopresji pogranicza geograficznego Wielkopolski i Pomorza we wczesnym średniowieczu w świetle badań geoarcheologicznych grodziska w Santoku i jego zaplecza” (NCN 2015/18/E/HS3/00425, kierownik dr Kinga Monczak-Zamelska z Instytutu Archeologii i Etnologii PAN), którego celem było rozpoznanie warunków naturalnych oraz charakteru i skali antropopresji we wczesnym średniowieczu na obszarze pogranicza Wielkopolski i Pomorza, w dolinie Warty-Noteci, na bazie materiałów z grodziska w Santoku (woj. lubuskie) (ryc. 15).

WNIOSKI

Pomimo znacznego potencjału analizy okrzemkowej w badaniach archeologicznych jest to wciąż metoda niedostatecznie wykorzystywana i przez wielu archeologów słabo rozumiana. Powyższe przykłady ilustrują trend, w którym diatomolodzy coraz bardziej angażują się w badania archeologiczne. Taka współpraca przynosi korzyści w najnowszych badaniach

archeologicznych, ponieważ dostarcza informacji o środowisku geograficznym dawnych społeczności i ułatwia interpretację złożonych relacji między kulturą i środowiskiem. Ponadto pomaga zrozumieć, w jaki sposób dawne społeczności współdziałały przestrzennie, ekonomicznie, społecznie i kulturowo wraz z ich środowiskiem geograficznym.

W większości opublikowanych badań wykorzystano analizę okrzemek w celu uzyskania informacji o lokalnych i regionalnych paleośrodowiskach oraz do zidentyfikowania czynników środowiskowych, które wpłynęły na wzorce lokalizacji i organizacji osadnictwa. Analizy okrzemkowe możemy wykorzystać również do ustalenia pochodzenia zabytków archeologicznych (jak ceramika) czy zrozumienia funkcji różnych struktur archeologicznych (np. studnia). Ponadto mogą posłużyć do rekonstrukcji zmian poziomu morza, klimatu czy jakości wody, które również są istotne dla badań archeologicznych.

FINANSOWANIE

Przykłady zastosowania analizy okrzemkowej z obszaru Polski zostały sfinansowane w ramach:

- projektu MNiSW 2P04E01630 „Rozwój pradziejowych i historycznych systemów osadniczych i gospodarczych a holocenijskie przekształcenia rzeźby na przykładzie Środkowej Obry” – kierownik prof. UAM dr hab. Iwona Hildebrandt-Radke (UAM Poznań);
- projektu „Opracowanie materiałów ze stan. 3a-c Lutomiersk – Koziówki” dofinansowanego ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego z Funduszu Promocji Kultury w ramach programu Dziedzictwo Kulturowe, priorytet V „Ochrona zabytków archeologicznych” na podstawie umowy nr 1080/11/FPK/NID;
- projektu 2013/11/B/HS3/03785 „Uwarunkowania środowiskowe rozwoju średniowiecznego ośrodka grodowego w Rozprzy w Polsce Środkowej w świetle badań multidyscyplinarnych” – kierownik dr hab. Piotr Kittel (UŁ Łódź);
- projektu NCN 2015/18/E/HS3/00425 „Warunki przyrodnicze i charakter antropopresji pogranicza geograficznego Wielkopolski i Pomorza we wczesnym średniowieczu w świetle badań geoarcheologicznych grodziska w Santoku i jego zaplecza”; kierownik dr Kinga Monczak-Zamelska (Instytut Archeologii i Etnologii PAN).

LITERATURA

- Alhonen, P., Kokkonen, J., Matiszkainen, H., Vuorinen, A. 1980. Applications of AAS, diatom analysis and stylistic studies on Finnish Subneolithic pottery. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 52: 193–206.
- Alhonen, P., Matiszkainen, H. 1980. Diatom analysis from prehistoric pottery sherds – an archaeological evaluation. *Proceedings of the Nordic Meeting of Diatomologists, Lammi Biological Station, Finland, May 6–7*.
- Alhonen, P., Väkeväinen, L. 1981. Diatom-analytical studies of early comb ceramic vessels in Åland. *Eripainos Suomen Museo*, 67–77.
- Anderson, N.J. 1997. Historical changes in epilimnetic phosphorus concentrations in six rural lakes in Northern Ireland. *Freshwater Biology* 38: 427–440.
- Andrén, E. 1999. Changes in the Composition of the Diatom Flora During the Last Century Indicate Increased Eutrophication of the Oder Estuary, South-western Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48: 665–676.
- Bąk, M., Witkowski, A., Kierzek, A., Zamelczyk, K. 2007. Wykorzystanie badań diatomologicznych w archeologii, (w:) M. Makohonienko D. Makowiecki, Z. Kurnatowska (red.), *Środowisko-Człowiek-Cywilizacja, tom 1*, Poznań, 233–243.
- Bąk, M., Witkowski, A., Żelazna-Wieczorek, J., Wojtal, A.Z., Szczepocka, E., Szulc, K., Szulc, B. 2012. Klucz do oznaczania okrzemek w fitobentosie na potrzeby oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Warszawa, 9–12.
- Battarbee, R.W. 1986. Diatom analysis, (w:) B.E. Berglund (red.), *Handbook of Holocene paleoecology and paleohydrology*. London, 527–570.
- Battarbee, R.W. 1988. The use of diatoms analysis in archeology: a review. *Journal of Archaeological Science* 15: 621–644.
- Battarbee, R.W., Jones, V.J., Flower, R.J., Cameron, N.G., Bennion, H., Carvalho, L., Juggins, S. 2001. Diatoms, (w:) J.P. Smol, H.J.B. Birks, W.M. Last (red.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 3, Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht, 155–202.
- Battarbee, R.W., Scaife, R.G., Phetean, S.J. 1985. Palaeoecological evidence for sea-level change in the Bann estuary in the early mesolithic period, (w:) P.C. Woodman (red.), *Excavations at Mount Sandel 1973–78*. Belfast, 111–120.
- Beneš, J., Kaštovský, J., Kočárová, R., Kočár, P., Kubečková, K., Pokorný, P., Starec, P. 2002. Archaeobotany of the Old Prague Town defence system, Czech Republic: archaeology, macro-remains, pollen, and diatoms. *Vegetation History and Archaeobotany* 11: 107–120.
- Bennion, H., Juggins, S., Anderson, N. 1996. Predicting epilimnetic phosphorus concentrations using an improved diatom-based transfer function, and its application to lake eutrophication management. *Environmental Science and Technology* 30: 2004–2007.
- Birks, H.J.B., Line, J.M., Juggins, S., Stevenson, A.C., ter Braak, C.J.F. 1990. Diatoms and pH Reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 327: 263–278.
- Bogaczewicz-Adamczak, B., Drwal, J., Gołębiowski, R., Król, D., Miotk, G. 1987. Studia archeologiczno-paleogeograficzne Kępy Ostrowskiej na Pobrzeżu Kaszubskim. *Przegląd Archeologiczny* 34: 49–81.
- Borówka, R. K., Witkowski, A., Lutyńska, M., Tomkowiak, J., Kowalczyk, K., Duda, T., Wozniński, R. 2014. Przemiany środowiska przyrodniczego okolic Wolina podczas holocenu, ze szczególnym uwzględnieniem okresu wczesnego średniowiecza [en. Changes in the natural environment around Wolin during the Holocene, with particular focus on the early Middle Ages], (w:) B. Stanisławski i W. Filipowiak (red.), *Wolin Wczesnośredniowieczny. Część 2*. Warszawa, 25–49.
- Cameron, N.G. 1997. The diatom evidence, (w:) N. Nayling, A. Caseldine (red.), *Excavations at Caldicot, Gwent: Bronze Age Palaeochannels in the Lower Nedern Valley*, Council for British Archaeology Research, Report 108: 117–128.
- Cameron, N.G. 2013. Diatom methods. Use in archeology, (w:) S. A. Elias (red.), *Encyclopedia of Quaternary Science (2nd edition)*. Netherlands, UK, USA, 516–521.
- Clark, P. 2004. *The Dover Bronze Age Boat*, London.
- Cole, S.C., Atwater, B.F., McCutcheon, P.T., Stein, J.K., Hemphill-Haley, E. 1996. Earthquake-induced burial of archaeological sites along the southern Washington coast about A.D. 1700. *Geoarchaeology* 11: 165–177.
- Cox, E.J. 1991. What is the basis for using diatoms as monitors of river quality?, (w:) B.A. Witton E. Rott, G. Friedrich (red.), *Use of algae in monitoring rivers*. Düsseldorf, 33–39.
- Demiddele, H., Eryvynck, A. 1993. Diatomeen als ecologische indicatoren in de Vlaamse archeologie: Romeins en middeleeuws Oudenburg (prov. West-Vlaanderen). *Archeologie in Vlaanderen* 3: 217–231.
- Denys, L. 1992. On the significance of marine diatoms in freshwater deposits at archaeological sites. *Diatom Research* 7: 195–197.
- Dörfler, W., Hildebrandt-Radke, I., Spychalski, W., Lutyńska, M. 2009a. Osady jeziora Wonieść jako źródło informacji o regionalnym użytkowaniu terenu w pradziejach i czasach historycznych w dorzeczu środkowej Obry. *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym*, Vol. 6., 147–150.
- Dörfler, W., Hildebrandt-Radke, I., Spychalski, W., Lutyńska, M. 2009b. Zapis palinologiczny, litologiczny, geochemiczny i diatomologiczny regionalnych zmian użytkowania terenu w osadach Jeziora Wonieść (Pojezierze Wielkopolskie. *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych V*, Seria Geografia (88). Poznań, 59–78.
- Douglas, M.S.V., Smol, J.P., Savelle, J.M. i Blais, J.M. 2004. Prehistoric Inuit whalers affected Arctic freshwater ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 1613–1617.

- Ekdahl, E.J., Teranes, J.L., Guilderson, T.P., Turton, C.L., McAndrews, J.H., Wittkop, C.A., Stoermer, E.F. 2004. Pre-historical record of cultural eutrophication from Crawford Lake, Canada. *Geology* 32: 745–748.
- Ekdahl, E.J., Teranes, J.L., Wittkop, C.A., Stoermer, E.F., Reavie, E.D., Smol, J.P. 2007. Diatom assemblage response to Iroquoian and Euro-Canadian eutrophication of Crawford Lake, Ontario, Canada. *Journal of Paleolimnology* 37: 233–246.
- Flower, R. J. 2006. Diatoms in ancient building materials: application of diatom analysis to Egyptian mud bricks. *Nova Hedwigia* 130: 245–263.
- Foged, N. 1973. *The diatoms in a wreck from the late Middle Age*. University of Lund, Department of Quaternary Geology. Report 3: 39–45.
- Foged, N. 1985. Diatoms in a tomb from the early Bronze Age. *Nova Hedwigia* 41: 471–482.
- Fritz, S.C. 1989. Lake Development and Limnological Response to Prehistoric and Historic Land-Use in Diss, Norfolk, U.K. *The Journal of Ecology* 77: 182–202.
- Fritz, S.C. 1990. Twentieth-century salinity and water-level fluctuations in Devils Lake, North Dakota: test of a diatom-based transfer function. *Limnology and Oceanography* 35: 1771–1781.
- Gibson, A.M. 1986. Diatom analysis of clays and Late Neolithic pottery from the Milfield Basin, Northumberland. *Proceedings of the Prehistoric Society* 52: 89–103.
- Gillson, L., Ekblom, A. 2009. Untangling anthropogenic and climatic influence on riverine forest in the Kruger National Park, South Africa. *Vegetation History and Archaeobotany* 18: 171–185. doi:10.1007/s00334-008-0202-6
- Godbold, S., Turner, R.C. 1993. *Second Severn Crossing Archaeological Response: Phase 1: the Intertidal Zone in Wales*, Brentwood.
- Haworth, E.Y. 1985. The highly nervous system of the English lakes; aquatic ecosystem sensitivity to external changes, as demonstrated by diatom, *Annual Report, Freshwater Biological Association, Ambleside*. Freshwater Biological Association, 60–79.
- Håkansson, H., Hulthén, B. 1986. On the dissolution of pottery for diatom studies. *Norwegian Archaeological Review* 19: 34–38.
- Håkansson, H., Hulthén, B. 1988. Identification of diatoms in neolithic pottery. *Diatom Research* 3: 39–45.
- Hemphill-Haley, E. 1995. Diatom evidence for earthquake-induced subsidence and tsunami 300 yr ago in southern coastal Washington. *Geological Society of America Bulletin* 107: 367–378.
- Hemphill-Haley, E. 1996. Diatoms as an aid in identifying late-Holocene tsunami deposits. *The Holocene* 6: 439–448.
- Hildebrandt-Radke, I. 2013. *Pradziejowa i wczesnohistoryczna antropopresja i jej zapis w środowisku przyrodniczym na przykładzie regionu środkowej Obry (Wielkopolska)*. Poznań.
- Hildebrandt-Radke, I., Spychalski, W., Lutyńska, M. 2011a. Regionalna wymowa procesów antropogenizacji regionu środkowej Obry na podstawie badań osadów jeziora Wonieść. *Landform analysis* 16: 92–97.
- Hildebrandt-Radke, I., Spychalski, W., Lutyńska, M. 2011b. Sedimentological, geochemical and diatom investigations on sediments of Lake Wonieść in the context of climate changes and main stages of the Middle Obra River settlement, (w:) I. Hildebrandt-Radke, W. Dörfler, J. Czebreszuk, J. Müller (red.), *Anthropogenic Pressure in the Neolithic and Bronze Age on the Central European Lowlands*. Poznań-Bonn, 173–188.
- Hill, T., Whittaker, J., Brunning, R., Law, M., Bell, M., Ramsey, C.B., Dunbar, E., Marshall, P. 2017. Palaeoenvironmental investigations of a Mesolithic–Neolithic sedimentary sequence from Queen's Sedgemoor, Somerset, (w:) M. Williams T. Hill I. Boomer i I.P. Wilkinson (red.), *The Archaeological and Forensic Applications of Microfossils: A Deeper Understanding of Human History*. London, 79–102.
- Jansma, M.J. 1977. Diatom analysis of pottery. *Cingula* 4: 77–85.
- Jansma, M.J. 1981. Diatoms from coastal sites in the Netherlands, (w:) D. Brothwell i G. Dimbleby (red.), *In Environmental Aspects of Coasts and Islands*. Oxford, 145–162.
- Jansma, M.J. 1982. Diatom analysis from some prehistoric sites in the coastal area of the Netherlands. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 25: 229–236.
- Jansma, M.J. 1984. Diatom analysis of prehistoric pottery, (w:) D.G. Mann (red.), *In Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium*. Königstein, 529–536.
- Jansma, M.J. 1990. Diatoms from a neolithic excavation on the Former Island of Schokland, IJsselmeerpolders, The Netherlands. *Diatom Research* 5: 301–309.
- John, J. 2004. Assessment of river health in Australia by diatom assemblages – a review. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 33: 95–104.
- Juggins, S. 1992a. Diatom analysis, (w:) S. Woodwiss (red.), *In Iron Age and Roman salt production and the medieval town of Droitwich: excavations at the Old Bowling Green and Friar Street*. Council of British Archaeology Research Report 81, 4–5.
- Juggins, S. 1992b. *Diatoms in the Thames Estuary, England: ecology, palaeoecology, and salinity transfer function*. Stuttgart.
- Juggins, S., Cameron, N.G. 2010. Diatoms and archeology, (w:) J.P. Smol, E.F. Stoermer (red.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences, 2nd Edition*. Cambridge, 514–522.
- Keevill, G. 2004. *Historic Royal Palaces Monograph No.1: the Tower of London moat*. Oxford.
- Kittel, P. 2012. Wpływ georóżnorodności zlewni Neru (Polska środkowa) na lokalizację osadnictwa pradziejowego. *Landform Analysis* 19: 49–66.

- Kittel, P., Antczak, O., Brooks, S.J., Elias, S.A. 2018. The palaeo-ecological development of the Late Medieval moat – Multiproxy research at Rozprza, Central Poland The palaeoecological development of the Late Medieval moat – Multiproxy research at Rozprza, Central Poland. *Quaternary Geochronology* 482: 131–156.
- Kittel, P., Muzolf, B., Plóciennik, M., Elias, S., Brooks, S. J., Lutyńska, M., Pawłowski, D., Stachowicz-Rybka, R., Wacnik, A., Okupny, D., Głęb, Z., Mueller-Bieniek, A. 2014. A multi-proxy reconstruction from Lutomiersk–Koziówki, Central Poland, in the context of early modern hemp and flax processing. *Journal of Archaeological Science* 50: 318–337.
- Krammer, K. 2002. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, (w:) H. Lange-Bertalot (red.), *Diatoms of Europe, Cymbella*, Vol. 3. Königstein-Rugell, 584.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. 2008a. Bacillariophyceae 2, Ephitemiaceae, Bacillariaceae, Surirellaceae, (w:) H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2. T 2, Fourth edition. Stuttgart, 596.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. 2008b. Bacillariophyceae 3, Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, (w:) H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2. T 3, Third edition. Stuttgart, 577.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. 2010. Bacillariophyceae 1. Naviculaceae, (w:) H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2. T 1, Fourth edition. Stuttgart, 876.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H. 2011. Bacillariophyceae 4, Achnanthaceae, (w:) H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer (red.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2. T 4, Third edition. Stuttgart, 437.
- Kwiecińska, B. 2000. How the diatoms were found in the Proterozoic marbles at Przeworno, (w:) A. Witkowski, J. Siemińska (red.), *The origin and early evolution of the diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Kraków, 75–95.
- Lange-Bertalot, H. 1999. Annotated Diatom Micrographs, Taxonomy. *Iconographia Diatomologica*. T. 8. Königstein-Rugell, 289.
- Lange-Bertalot, H., Bąk, M., Witkowski, A., Tagliaventi, N. 2011. Eunotia and related genera. *Diatoms of Europe* 6: 1–747.
- Lange-Bertalot, H., Genkal, S.I. 1999. Diatoms from Siberia I. Island in the Arctic Ocean (Yugorsky Shar Strait, (w:) H. Lange-Bertalot (red.), *Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Micrographs*, T. 6. Königstein-Vaduz, 294.
- Lange-Bertalot, H., Krammer, K. 1987. *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Königstein.
- Lange-Bertalot, H., Metzeltin, D. 1996. Indicators of Oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types, (w:) H. Lange-Bertalot (red.), *Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Micrographs*, T. 2. Königstein, 390.
- Mann, D.G. 2002. Diatoms: organism and image, (w:) H. du Buf, M.M. Bayer (red.), *Automatic diatom identification*. Singapore, 9–40.
- Mannion, A.M. 1987. Fossil diatoms and their significance in archeological research. *Oxford Journal of Archaeology* 6: 131–147.
- Marsden, P., Branch, N., Evans, J., Gale, R., Goodburn, D., Juggins, S., Marsden, P., McGrail, S., Rackham, J., Tyers, I., Vaughan, D., Whipp, D. 1989. A late Saxon logboat from Clapton, London Borough of Hackney. *International Journal of Nautical Archaeology* 18: 89–111.
- Matiskainen, H., Alhonen, P. 1984. Diatoms as indicators of provenance in Finnish sub-neolithic pottery. *Journal of Archaeological Science* 11: 147–157.
- Miller, U. 1995. Diatoms and submarine archaeology (siliceous microfossil analysis as a key to the environment of shipwrecks, harbour basin sand sailing routes. *Scientific Methods in Under-water Archaeology*, ed. I. Council for Europe. Rixensart, 53–58.
- Miller, U., Robertsson, A. 1981. Current biostratigraphical studies connected with archaeological excavations in the Stockholm region. *Striae* 14: 167–173.
- Miller, U., Robertsson, A., Karlsson, S., Risberg, J.A.N. 2004. Half a century of interdisciplinary studies on the development of the natural and cultural landscape in the Stockholm region. *Acta Palaeobotanica* 44: 287–298.
- Milne, G., Battarbee, R. W., Straker, V., Yule, B. 1983. The river Thames in London in the mid 1st century AD. *Transactions of the London and Middlesex Archaeological Society* 34: 19–30.
- Nayling, N., McGrail, S. 2004. *The Barland's Farm Romano-Celtic Boat*, Council for British Archaeology Research Report 115. York.
- Neely, J.A., Caran, S.C., Winsborough, B.M., Sorensen, F.R., Valastro, J.S. 1995. An early Holocene hand-dug water well in the Tehuacan Valley of Puebla, Mexico. *Current Research in the Pleistocene* 12: 38–40.
- Nowicka-Krawczyk, P., Żelazna-Wieczorek, J., Otlewska, A., Koziróg, A., Rajkowska, K., Piotrowska, M., Gutarowska, B., Żydzik-Białek, A. 2014. Diversity of an aerial phototrophic coating of historic buildings in the former Auschwitz II-Birkenau concentration camp. *Science of The Total Environment* 493: 116–123.
- Ognjanova-Rumenova, N. 2008. Palaeoenvironment and archaeology: the use of diatom analysis in archaeology, (w:) R.I. Kostov B. Gaydarska, M. Gurova (red.), *Geoarchaeology and Archaeomineralogy. Proceedings of the International Conference, 29-30 October 2008 Sofia*. Sofia.
- Patrick, R. 1984. Diatoms as indicators of changes in water quality, (w:) M. Ricard (red.), *Proceedings of the 8th International Diatom Symposium*, 756–766.

- Piotrowski, A. 2007a. Tsunami AD 1497. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 424: 77–78.
- Piotrowski, A. 2007b. Tsunami events in Kołobrzeg in the light of historical evidences. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 424: 73.
- Piotrowski, A., Gałczyńska, C.Z. 2003. Wineta, niedźwiedź morski, czyli o zmianach linii brzegowej pomiędzy Rugią a Uznamem. *Budowa geologiczna i rzeźba Rugii i Uznamu. Materiały IV Ogólnopolskiej Konferencji PTG*. Szczecin.
- Piotrowski, A., Szczuciński, W., Krzymińska, J., Sydor, P., Rzodkiewicz, M. 2015. Examples of catastrophic saltwater inundations (storms or tsunamis) on the southern coast of the Baltic Sea during the late Holocene, north Poland. *31st IAS Meeting of Sedimentology, 22-25 June, 2015, Kraków*. Kraków.
- Piotrowski, A., Szczuciński, W., Sydor, P., Kotrys, B., Rzodkiewicz, M., Krzymińska, J. 2017. Sedimentary evidence of extreme storm surge or tsunami events in the southern Baltic Sea (Rogowo area, NW Poland). *Geological Quarterly* 61: 973–986.
- Pliński, M., Witkowski, A. 2009. *Okrzemki – Bacillariophyta (Diatoms) (with the English key for the identification to the genus)*, Cz. 1: *Okrzemki Centryczne*. Gdańsk.
- Renberg, I., Bindler, R., Bradshaw, E., Emteryd, O., McGowan, S. 2001. Sediment Evidence of Early Eutrophication and Heavy Metal Pollution of Lake Mälaren, Central Sweden. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 30: 496–502.
- Rzodkiewicz, M., Zamelska-Monczak, K., Piotrowski, A., Sydor, P., Żuk, T., Krzymińska, J., Noryskiewicz, A.M. 2018a. Paleoenvironmental research of the organic fill of the small depression near the Early Medieval stronghold in Santok (west Poland). *Reflecting Futures. Abstract Book, vol. 2. 24th EAA Annual Meeting, Barcelona, 5-8 September*. Barcelona.
- Rzodkiewicz, M., Zamelska-Monczak, K., Piotrowski, A., Sydor, P., Żuk, T., Krzymińska, J., Noryskiewicz, A.M. 2018b. Paleoenvironmental research of the organic sediments Early Medieval stronghold in Santok (Lubusz Land, west Poland). *Natural Resource of Border Areas under a Changing Climate, 2nd International Scientific Conference NARBAC 2018, Słupsk-Smoldzino, 25-28 September*. Słupsk.
- Schoemann, F.R., Haworth, E.Y. 1984. Diatoms as indicators of pollution, (w:) M. Ricard (red.), *Proceedings of the 8th International Diatom Symposium*. Königstein, 757–759.
- Siemińska, J. 1980. Morphological and taxonomic features of the remains of diatom frustules found in Przeworno marbles in Poland. Plate I, II, (w:) T.V. Desicachary, V.N. Raja Rao (red.), *Taxonomy of algae*. Madras, 733–737.
- Siemińska, J. 1981. Structural details of diatom remains found in the Przeworno marbles, (w:) R. Ross (red.), *Proceeding of the Sixth Symposium on Recent and Fossil Diatoms*. Königstein, 203–206.
- Siemińska, J. 2000. The discoveries of diatoms older than Cretaceous, (w:) A. Witkowski, J. Siemińska (red.), *The origin and early evolution of the diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Kraków, 55–74.
- Siemińska, J. 2015. On the age of fossil diatoms. *Acta Palaeobotanica* 55: 115–117.
- Siemińska, J., Kwiecińska, B. 2000. The Proterozoic diatoms from the Przeworno marbles, (w:) A. Witkowski, J. Siemińska (red.), *The origin and early evolution of the diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Szczecin, 97–121.
- Sims, P.A., Mann, D.G., Medlin, L.K. 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia* 45: 361–402.
- Szczuciński, W. 2008. Potencjalne skutki geologiczne i środowiskowe tsunami na wybrzeżu Bałtyku. *Holocenne przemiany wybrzeży i wód południowego Bałtyku – przyczyny, uwarunkowania i skutki*. Poznań-Bydgoszcz, 119–125.
- Taylor, J.C., Harding, W.R., Archibald, C.G.M. 2007. *A methods manual for the collection, preparation and analysis of diatom samples*. Republic of South Africa.
- Van Den Hoek, C., Mann, D., Jahns, H.M. 1998. *Algae, An Introduction to phycology*. Cambridge.
- VanLandingham, S. 2006. Diatom evidence for autochthonous artifact deposition in the Valsequillo region, Puebla, Mexico during the Sangamonian (sensu lato = 80,000 to ca. 220,000 yr BP and Illinoian (220,000 to 430,000 yr BP). *Journal of Paleolimnology* 36: 101–116.
- Whitmore, T.J., Brenner, M., Curtis, J.H., Dahlin, B.H., Leyden, B.W. 1996. Holocene climatic and human influences on lakes of the Yucatan Peninsula, Mexico: an interdisciplinary, palaeolimnological approach. *The Holocene* 6: 273–287.
- Wilkinson, T.J., Murphy, P., Juggins, S., Manson, K. 1988. Wetland development and human activity in Essex estuaries during the Holocene transgression, (w:) P. Murphy, C. French (red.), *The Exploitation of Wetlands*. Oxford, 213–238.
- Willcox, G.H. 1975. Problems and possible conclusions related to the history and archaeology of the Thames in the London region. *Transactions of the London and Middlesex Archaeological Society* 26: 185–192.
- Winsborough, B.M., Shimada, I., Newsom, L.A., Jones, J.G., Segura, R.A. 2012. Paleoenvironmental catastrophes on the Peruvian coast revealed in lagoon sediment cores from Pachacamac. *Journal of Archaeological Science* 39: 602–614.
- de Wolf, H., Cleveringa, P. 1996. The impact of the beer industry on medieval water quality, (w:) I. Mayama, J. Kozumi (red.), *Proceedings of the 14th Diatom Symposium*. Königstein.
- Zamelska-Monczak, K., Piotrowski, A., Sydor, P., Żuk, T., Rzodkiewicz, M., Noryskiewicz, A., Krzymińska, J., 2021. Geoarchaeological studies in the early medieval Santok stronghold (north-western Poland). *Geoarchaeology* 36(6): 978–1008.

