

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

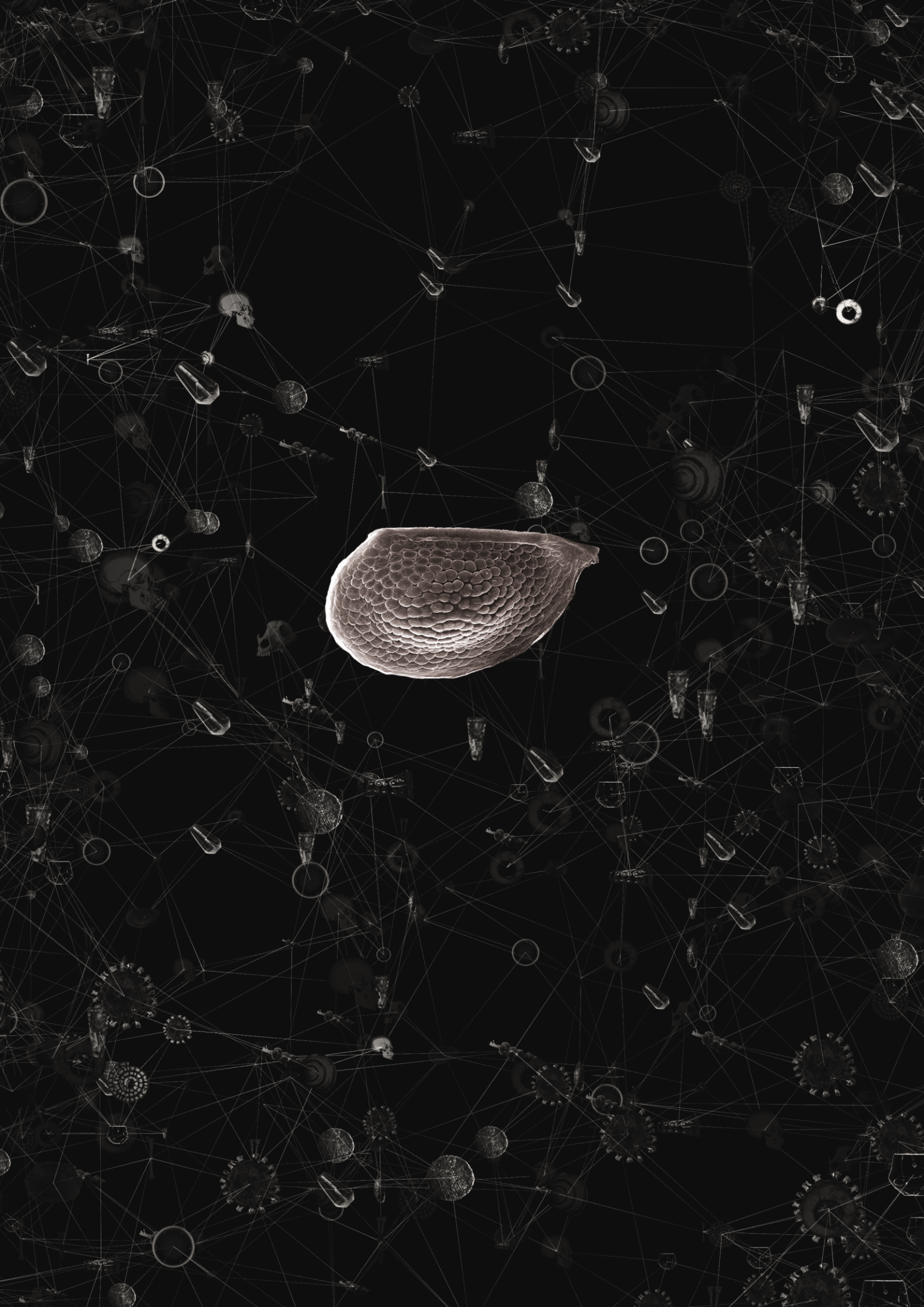
Poznań 2021

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



Wioślarki

Izabela Zawiska

WPROWADZENIE I CHARAKTERYSTYKA ANALIZY SUBFOSYLNYCH WIOŚLAREK

Zmiany środowiska przyrodniczego wynikają z naturalnej ewolucji ekosystemów przyrodniczych, a także są efektem działalności człowieka. Zachodzą od początku istnienia życia na Ziemi, jednak dla badań archeologicznych na obszarze Europy Środkowej szczególnie interesujący jest okres od momentu ustąpienia ostatniego zlodowacenia i ocieplenia klimatu rozpoczynającego trwającą współcześnie najmłodszą epokę geologiczną – Holocen. Za jej początek na obszarze Polski przyjmuje się datę ok. 11 500 cal BP (Goslar 1998). Zmiany środowiska w trakcie trwania Holocenu zostały poznane dzięki wieloaspektowej analizie osadów biogenicznych – torfów i osadów jeziornych, które akumulują w zagłębieniach terenu w wielu przypadkach nawet o kilka tysięcy lat wcześniej niż zaczął się Holocen. Osady biogeniczne, a dokładnie ich skład, układ warstw oraz zachowane w nich szczątki żyjących w przeszłości organizmów są bogatym źródłem wiedzy o środowisku (Tobolski 2000). Prezentowana w niniejszym rozdziale analiza szczątków wioślarek może być stosowana zarówno przy badaniu osadów torfowych, jak i jeziornych, jednak zdecydowanie więcej informacji na temat środowiska przyrodniczego można uzyskać, analizując skład gatunkowy wioślarek z osadów jeziornych. Dlatego też w dalszej części rozdziału

przybliżona zostanie analiza wioślarek w odniesieniu do badań osadów akumulowanych w zbiornikach wodnych.

Wioślarki (Cladocera) są słodkowodnymi skorupiakami planktonowymi, jednymi z głównych składników zooplanktonu wód słodkich; tylko kilka gatunków może żyć w wodach słonawych (Rybak i Błędzki 2010). Według systematyki należą do królestwa zwierząt (Animalia), typu stawonogi (Arthropoda), podtypu skorupiaki (Crustacea), gromady skrzelonogów (Branchiopoda), tworząc nadrząd wioślarki (Cladocera) (Rybak i Błędzki 2010). Wioślarki żyją prawie na wszystkich kontynentach, dotychczas rozpoznano około 600 gatunków, w Europie ok. 210, a w Polsce ok. 100 (Rybak i Błędzki 2010). Wioślarki są organizmami o niewielkich rozmiarach ciała, w większości przypadków nie większymi niż 1 mm. Największym gatunkiem jest *Leptodora kindti* dochodząca do 18 mm, a najmniejszym *Alonella nana* mierząca ok. 0,2 mm (Rybak i Błędzki 2010). Wioślarki występują we wszystkich rodzajach wód słodkich, od dużych jezior do niewielkich stawów i rowów z wodą stojącą, niektóre gatunki żyją również na torfowiskach.

W jeziorach występują zarówno w strefie przybrzeżnej wśród roślin wodnych i przy dnie, jak i w strefie otwartej wody. Większość gatunków to filtratory, odżywiające się przede wszystkim glonami, bakteriami i drobną zawiesiną organiczną

(detrytusem). Występują nieliczne gatunki drażniące, które polują na drobne skorupiaki i wrotki.

Poszczególne gatunki znacznie różnią się od siebie budową, jednak wszystkie okryte są chitynową skorupką. Dzięki dość twardemu pancerzykowi szczątki żyjących w jeziorze organizmów mogą przetrwać w osadzie przez tysiące lat.

Na rycinie 1 przedstawiono zdjęcia wybranych gatunków wioślarek żyjących w jeziorach Polski Północnej, ich różowy kolor jest efektem sztucznego zabarwienia próbek safraniną.

Cladocera rozmnażają się zarówno partenogenetycznie, jak i płciowo. W trakcie sezonu letniego, gdy w jeziorze występują sprzyjające warunki do życia, samice wioślarek produkują patogenetycznie jaja, z których powstają identyczne osobniki żeńskie. W przypadku pogorszenia się warunków środowiskowych wraz z nadejściem zimy lub z innych przyczyn (np. niedoborów tlenu) patogenetycznie wytwarzane są osobniki męskie, przy udziale których powstają później jaja przetrwalnikowe. Są one otoczone kilkoma warstwami chityny, co tworzy razem efipium (ryc. 2; ryc. 3). Jaja przetrwalnikowe – efipia są bardzo odporne na niekorzystne warunki środowiskowe, mogą przetrwać nawet wyschnięcie zbiornika. Efipia zachowują się również w osadach jeziornych i są rozpoznawane w preparatach (Rybak i Błędzki 2010).

Na świecie pierwsze informacje na temat wioślarek zbierano już w wieku XVII. Jednak znaczące badania nad taksonomią gatunków zarówno w Polsce, jak i w innych regionach, prowadzone były w wieku XIX. Wtedy udokumentowano istnienie dużej liczby gatunków. W Polsce znaczący rozwój badań nastąpił po II wojnie światowej (Rybak i Błędzki 2010).

Szczątki wioślarek zachowują się w osadach jeziornych i dzięki swoim cechom morfologicznym mogą być oznaczane do poziomu gatunku (ryc. 2). Ponieważ wioślarki są czułe na zmiany środowiska, ich szczątki zachowane w osadach mogą być wykorzystywane jako indykatory jego zmian w przeszłości.

Po raz pierwszy analiza szczątków wioślarek z osadów została wykorzystana do rekonstrukcji zmian środowiska w latach 70. XX w. W Polsce jej prekursorami byli Cieczuga i Mikulski (Szeroczyńska i Zawiska 2007). Obecnie w Polsce pracuje kilkunastu naukowców zajmujących się rekonstrukcjami środowiska przyrodniczego z wykorzystaniem subfossylnych wioślarek.

Jak już wspomniano, wioślarki są organizmami czułymi na zmiany warunków środowiska, w którym żyją.

Szczątki wielu gatunków po obumarciu dobrze zachowują się w osadach i mogą być rozpoznane i oznaczone do poziomu gatunku. Dlatego właśnie analiza subfossylnych wioślarek (szczątków zachowanych w osadzie) jest powszechnie stosowana na świecie i w Polsce m.in. do określania zmian: temperatury (klimatu), żyzności wód (trofii), poziomu wód i ich zakwaszenia (pH) (Korhola i Rautio 2001).

Wnioskowanie prowadzi się, stosując podejście jakościowe, czyli analizując zmiany proporcji występowania poszczególnych gatunków i grup gatunków charakterystycznych dla różnych siedlisk w jeziorze (np. żyjących wśród roślin, w płytkiej strefie jeziora czy w toni wodnej), biorąc pod uwagę pojawianie się gatunków wskaźnikowych, zależności pomiędzy grupami gatunków (np. stosunek gatunków planktonowych do litoralnych P/L). Badania nad ekologią wioślarek doprowadziły do poznania warunków i siedlisk, jakie preferują poszczególne gatunki. Współcześnie w badaniach naukowych do wnioskowania o zmianach środowiska coraz częściej stosuje się metody ilościowe, zastosowanie metod statystycznych umożliwia rekonstrukcję wartości liczbowych wybranych parametrów środowiska, np. takich jak temperatura (Zawiska i in. 2015). Zakłada się, że aby rekonstrukcja zmian środowiska była jak najbardziej prawdziwa, powinno się poznać regionalne zależności pomiędzy poszczególnymi gatunkami wioślarek a zmiennymi środowiskowymi. W tym celu w grupie jezior o różnych wartościach poszczególnych czynników środowiskowych pobiera się powierzchniowe próby osadów, jednocześnie mierząc parametry fizyczne i chemiczne wody. W pobranych osadach analizuje się skład gatunkowy wioślarek, przeprowadza wieloczynnikową analizę statystyczną i identyfikuje czynniki najsilniej wpływające na występowanie poszczególnych gatunków. Zastosowanie tej metody umożliwia ilościową rekonstrukcję wybranego dominującego czynnika środowiskowego na podstawie składu gatunkowego stwierdzonego w osadach jeziornych.

WYMAGANIA EKOLOGICZNE WYBRANYCH GATUNKÓW WIOŚLAREK

Wioślarki żyją zarówno w strefie wody otwartej, jak i litoralnej. Wykształciły szereg cech anatomicznych przystosowujących je do miejsca życia, związanego z tym sposobu odżywiania i poruszania

się. Skorupki wielu gatunków są silnie urzeźbione, strukturę powierzchni widać dobrze pod mikroskopem świetlnym, jednak najlepiej jest ona widoczna podczas obrazowania za pomocą mikroskopu skaningowego (SEM) (Zawiska i in. 2016) (ryc. 3). Najliczniejszą i najbardziej znaną rodziną zamieszkującą strefę otwartej wody są rozwielitki (Daphniidae). Najczęściej w osadach znajdowane są szczątki przedstawicieli dwóch grup gatunków *Daphnia longispina* i *Daphnia pulex*. Daphniidae doskonale przystosowały się do życia w prawie całkowitym oderwaniu od dna. Wyspecjalizowane aparaty filtracyjne umożliwiają im odżywianie się zawieszoną w wodzie substancją organiczną i mikroorganizmami (sestonem). Dzięki prawie przezroczystemu chitynowemu pancerzykowi są słabo widoczne i trudniejsze do upolowania dla drapieżników. Innym przystosowaniem do życia w toni wodnej jest umiejętność pionowych migracji, w dzień ukrywają się przed polującymi na nie rybami na większych głębokościach, gdzie są gorsze warunki świetlne, w nocy zaś migrują w stronę powierzchni wody i tam żerują (Rybak i Błędzki 2010).

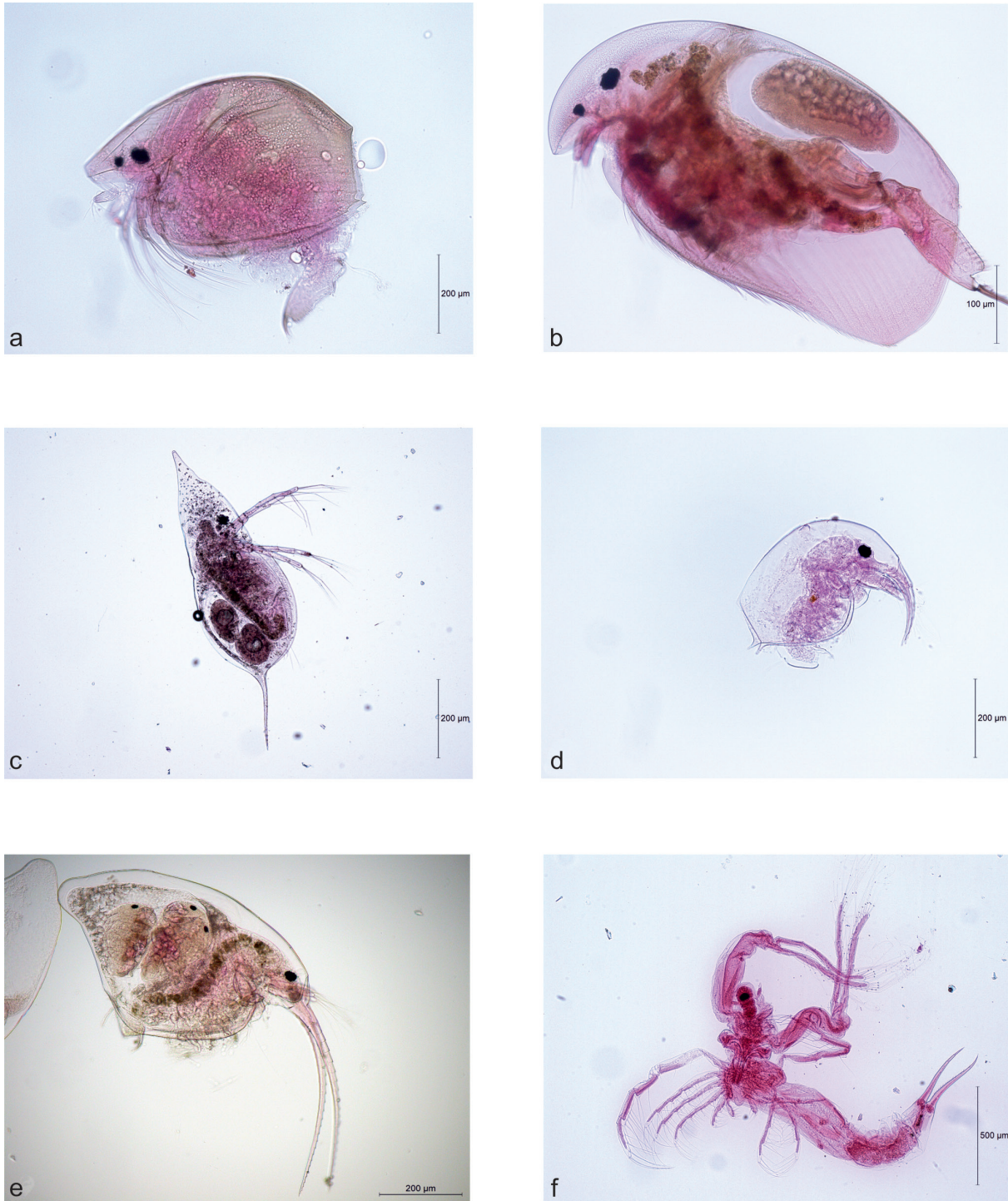
W strefie otwartej wody żyje również jeden z największych gatunków Cladocera *Leptodora kindtii*, osiągający długość 18 mm (ryc. 1). Jest to jedyny drapieżnik wśród wioślarek. Jego ciało jest prawie zupełnie przezroczyste, co sprawia, że jest słabo widoczny w wodzie i łatwiej może polować.

W strefie pelagicznej żyją przedstawiciele rodziny Bosminidae. W osadach zachowują się szczątki kilku gatunków, z których najczęściej są znajdowane: *Bosmina longirostris*, *Bosmina* (E.) *longispina* i *Bosmina* (E.) *coregoni*. *Bosmina* (E.) *longispina* i *Bosmina* (E.) *coregoni* są typowymi gatunkami otwartej wody. *Bosmina* (E.) *longispina* może żyć w wodach o niskim pH i dużej zawartości substancji humusowych. Uważana jest za gatunek wskazujący na niską trofę zbiornika (oligotrofię, mezotrofię). Występuje również w jeziorach górskich i jest gatunkiem powszechnym w jeziorach Europy Północnej. *Bosmina* (E.) *coregoni* preferuje wody bogatsze w substancje pokarmowe, o wyższej trofii (eutrofii). Gatunek *Bosmina longirostris* natomiast może zamieszkiwać zarówno strefę pelagiczną, jak i litoralną. Występuje w zbiornikach różnej wielkości i trofii. Jednak gdy jest gatunkiem dominującym, wskazuje to na wysoką produktywność zbiornika (eutrofie). W tym miejscu trzeba zaznaczyć, iż czasami rozróżnienie między gatunkami z rodziny

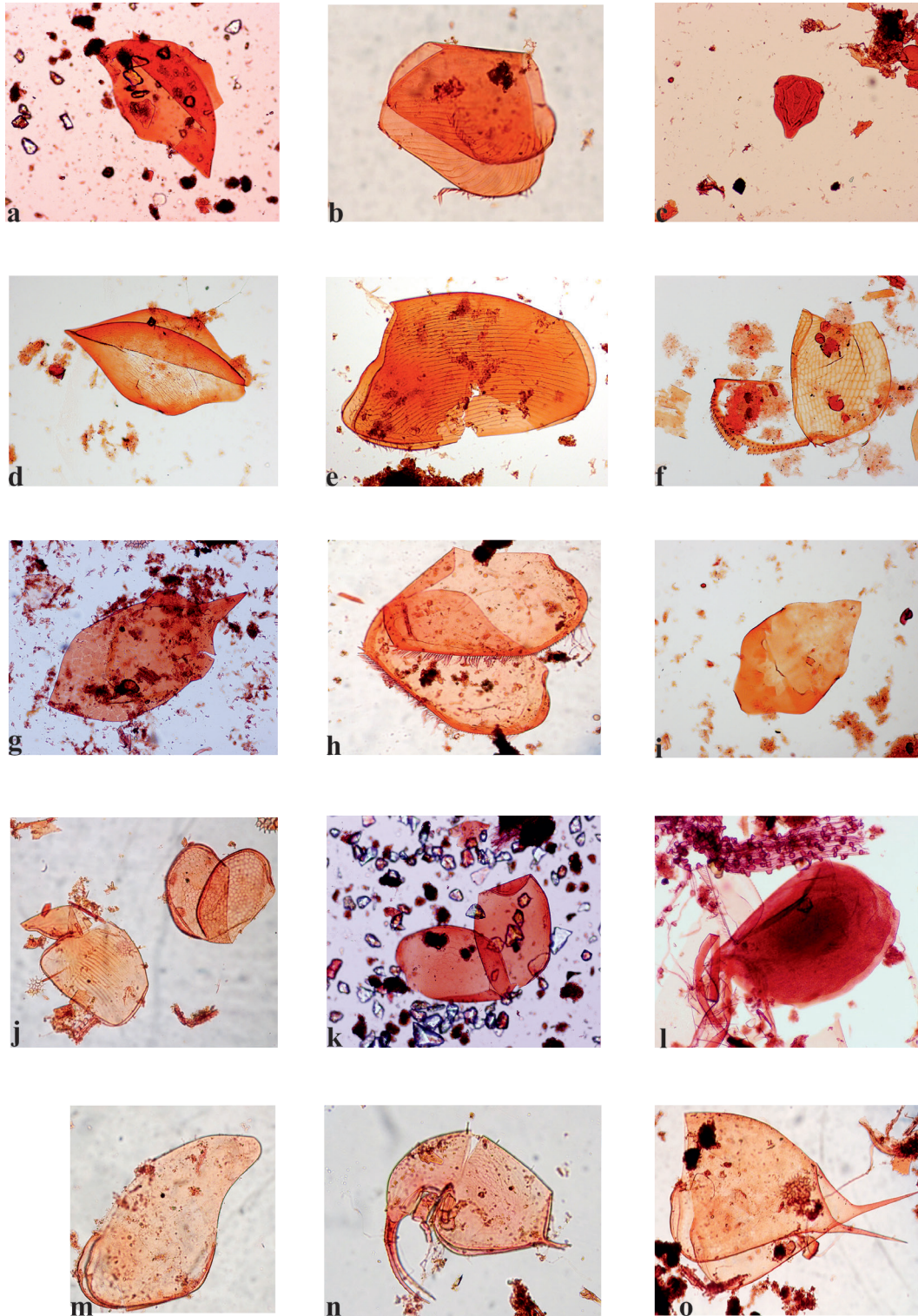
Bosminidae może być trudne, gdyż nie zawsze charakterystyczne cechy budowy są wystarczająco wyraźnie wykształcone.

W strefie litoralnej żyje wiele gatunków wioślarek, jednak w osadzie zachowują się szczątki Cladocera należące do rodzin: Chydoridae, Ilyocryptidae, Eurycercidae, Ophryoxidae, Sididae, Holopedidae oraz Macrothricidae. Przedstawiciele tych rodzin wykształcili unikalne cechy morfogenetyczne, przystosowując się do życia wśród roślin lub przy dnie zbiorników. Szczególnie ważna dla badań paleolimnologicznych jest rodzina Chydoridae, ponieważ należy do niej większość wioślarek, których szczątki zachowują się w osadach.

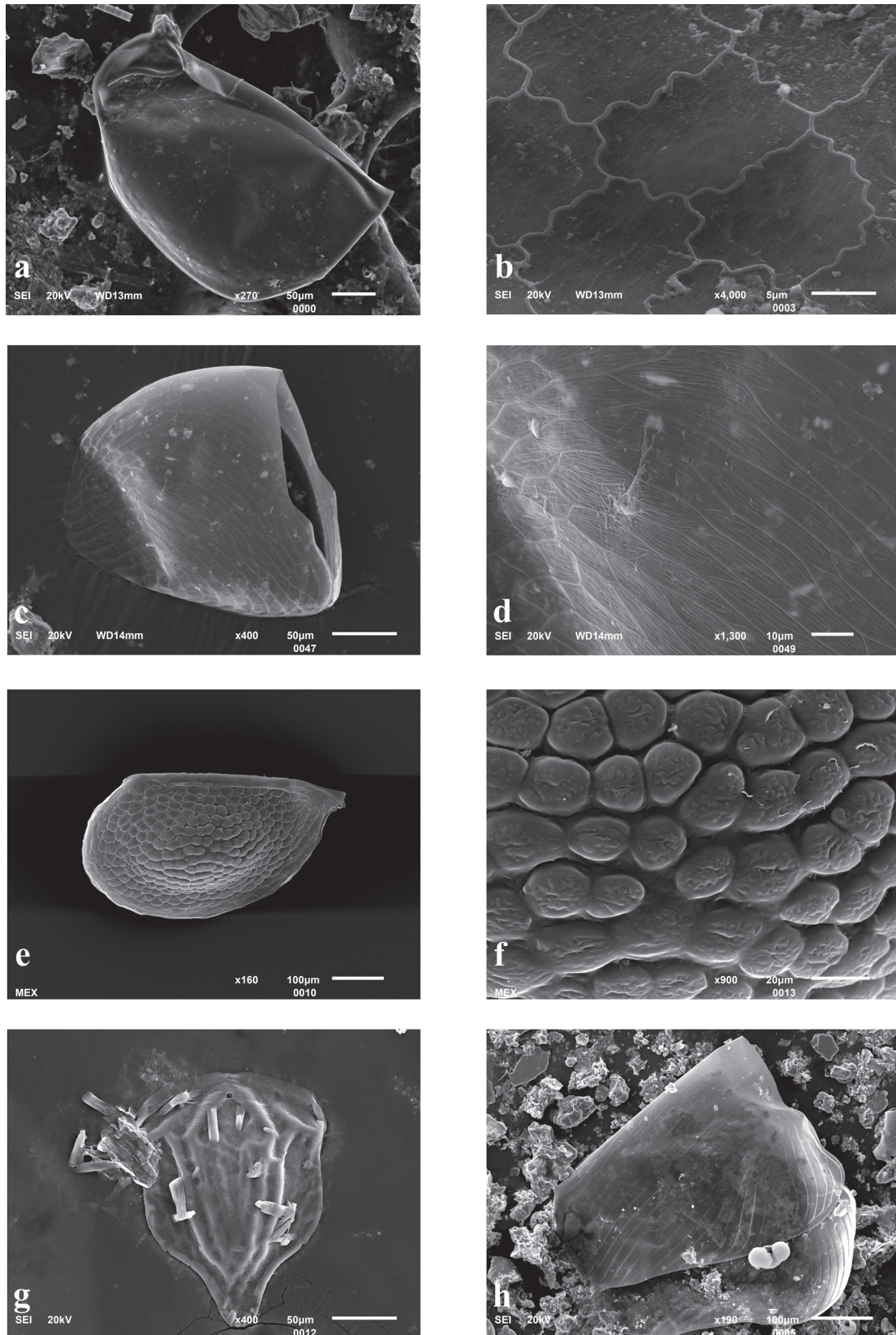
Specjalnym przystosowaniem Chydoridae do życia w dynamicznym i zróżnicowanym środowisku litoralu jest, potężniejsza niż u gatunków żyjących w strefie pelagicznej, budowa tarczki głowowych, puszek tułowiowych i odwłoków (Fryer 1968). Przedstawiciele gatunków litoralnych potrafią poruszać się zarówno wiosłując za pomocą czułków drugiej pary, tak jak gatunki pelagiczne, jak i pełzać po powierzchni dna i roślin lub zagrzebywać się w osadzie z wykorzystaniem odwłoka i odnóży tułowiowych. Gatunki te wykształciły również dodatkowe sposoby zdobywania pokarmu. Oprócz charakterystycznego dla wioślarek planktonowych filtrowania zawiesiny z wody potrafią zeszkrobywać osad z powierzchni roślin, piasku i kamieni, a także żywić się cząstkami detrytus (Fryer 1968; Rybak i Błędzki 2010). Do grupy żyjącej wśród roślin zaliczamy takie gatunki, jak: *Graptoleberis testudinaria*, *Camptocercus rectirostris*, *Alonella exigua*, *Acroperus* spp., *Eurycercus* spp., *Sida cristallina* (Fryer 1968; Flössner 2000). Życie przy dnie preferują m.in.: *Monospilus dispar*, *Leydigia leyidigi* i *Leydigia acantocercoides*, *Pleuroxus uncinatus*, *Pleuroxus trigonellus*, *Ilyocryptus* spp., *Ofryoxus gracilis* (Fryer 1968; Flössner 2000). Niektóre z tych gatunków mogą żyć tylko w dobrze natlenionych wodach, inne zaś znoszą deficyty tlenu. *Monospilus dispar* preferuje środowisko dobrze natlenionych wód. Gatunek ten żywi się, filtrując zawiesinę z wody. Znajdowany był nawet na głębokości 24 m jednak tylko w jeziorach oligotroficznym, gdzie deficyty tlenu nie występują (Duigan i Birks 2000). Warunki beztlenowe natomiast dobrze tolerują gatunki *Leydigia leyidigi* i *Leydigia acantocercoides*. Żyją nawet do głębokości 15 m, często zagrzebane w mule, żywiąc się detrytusem roślinnym, nie filtrując pokarmu z wody.



Ryc. 1. Zdjęcia wybranych gatunków wioślarek żyjących w jeziorach Polski Północnej: a – *Alonella exigua*, b – *croperus* spp., c – *Daphnia cucullata*, d – *Bosmina longirostris*, e – *Bosmina (E.) thersites*, f – *Leptodora kindti*. Fot. I. Zawiska



Ryc. 2. Zdjęcia szczątków wybranych gatunków wioślarek z osadów jezior Polski Północnej: a – *Acroperus harpae* – puszką głowową, b – *Acroperus harpae* – skorupka tułowiowa, c – *Monospilus dispar* – puszką głowową, d – *Camptocercus rectirostris* – puszką głowową, e – *Camptocercus rectirostris* – skorupka tułowiowa, f – *Graptoleberis testudinaria* – skorupka tułowiowa (po prawej stronie, ułożona pionowo) i *Leydigia* spp. – postabdomen, g – *Pleuroxus uncinatus* – puszką głowową, h – *Pleuroxus uncinatus* – skorupka tułowiowa, i – *Alona affinis*, j – *Alona rectangula* – puszką głowową połączoną ze skorupką tułowiową i *Chydorus sphaericus* – skorupka tułowiowa, k – *Chydorus sphaericus* – skorupka tułowiowa, l – *Leydigia* spp. – efipium, m – *Bosmina (E.) thersites* – skorupka tułowiowa, n – *Bosmina longirostris* – puszką głowową połączoną ze skorupką tułowiową, o – *Bosmina (E.) longicornis* f. *berolinensis* – skorupka tułowiowa. Fot. I. Zawiska



Ryc. 3. Zdjęcia szczątków wybranych gatunków wioślarek wykonane za pomocą mikroskopu skaningowego (SEM): a – *Chydorus cf. sphaericus* – skorupka tułowiowa, b – *Chydorus cf. sphaericus* – struktura powierzchni skorupki tułowiowej, c – *Alonella excisa* – skorupka tułowiowa, d – *Alonella excisa* – struktura powierzchni skorupki tułowiowej, e – *Ceriodaphnia* spp. – efipium, f – *Ceriodaphnia* spp. – struktura powierzchni efipium, g – *Monospilus dispar* – puszka głowowa, h – *Acroperus harpae* – skorupka tułowiowa. Zdjęcia a-g zaczerpnięto z publikacji Zawiska i in. 2016

Taki sposób zdobywania pożywienia spowodowany jest życiem w mętym środowisku, w którym aparaty filtracyjne szybko by się zapychały (Fryer 1968).

Wśród Chydoriadae są również gatunki, które potrafią żyć na podłożu różnego typu, niezależnie od istnienia roślinności wodnej. Do tej grupy zalicza się głównie gatunki: *Alona affinis*, *Alona quadrangularis*, *Alona rectangula*, *Alona guttata*, *Alona costata*, *Alona rustica*, *Alona intermedia*, *Alonopsis elongata*, *Chydorus piger*, *Disparalona rostrata*, *Pseudochydorus globosus*, *Alonella nana* i najbardziej kosmopolityczny ze wszystkich Cladocera *Chydorus* cf. *sphaericus* (Fryer 1968). Zamieszkuje on zarówno stawy, kanały, jak i duże jeziora. Jest odporny na zanieczyszczenia i zasolenie. Dobrze znosi niskie temperatury wody, występuje w zbiornikach o pH od 3,2 do 10. Znajdowany jest w osadach jezior oligotroficznych, bardzo ubogich w składniki pokarmowe, ale także w silnie eutroficznych. Kiedy występuje jako jeden z gatunków dominujących, uważany jest za wskaźnik wysokiej produktywności (eutrofii).

ZARYS MOŻLIWOŚCI INTERPRETACYJNYCH WYNIKÓW ANALIZY SUBFOSYLNICH WIOŚLAREK

Subfosylne wioślarki jako wskaźnik zmian klimatu

Analiza subfosylnych wioślarek jest przydatna do rekonstrukcji zmian klimatycznych. Wykorzystywany jest do tego m.in. wskaźnik różnorodności gatunkowej (Hofmann 1987). Wyniki wielu badań wskazują, że niska różnorodność gatunkowa zbiorowisk Cladocera jest charakterystyczna dla okresu schyłku ostatniego zlodowacenia i wzrasta ona wraz z ociepleniem klimatu w Holocen (Hofmann 1983; Korhola i Tikkanen 1991). Jednakże Hann i Warner (1987) uważają, iż wzrost różnorodności gatunkowej na początku Holocenu jest wynikiem zmian limnologicznych (rodzaju osadów, zwiększeniem udziału roślinności wodnej, a nie klimatu).

Podjęto również próby precyzyjnego zmierzenia zależności pomiędzy klimatem i zespołami Cladocera. Lotter i in. (1997) zbadali faunę Cladocera w powierzchniowych osadach 68 małych jezior położonych w Alpach na wysokości od 300 do 2350 m, o różnych warunkach temperaturowych,

głębokości i podłożu. Efektem badań było utworzenie modelu zmian w zespołach Cladocera w zależności od średniej temperatury lata. Został on wykorzystany do odtworzenia temperatur w późnym glacie na podstawie fauny wioślarek zachowanej w osadach szwajcarskiego jeziora Gerzensee. Podobny model został stworzony z osadów powierzchniowych jezior w Finlandii, został on wykorzystany do rekonstrukcji zmian temperatury na obszarze Polski w okresie schyłku ostatniego zlodowacenia (Zawiska i in. 2015).

Subfosylne wioślarki jako wskaźnik zmian poziomu wody

Wahania poziomu wody z wykorzystaniem wyników analizy subfosylnej fauny Cladocera najczęściej prezentowane są za pomocą wskaźnika P/L (stosunek form planktonowych do litoralnych) zaproponowanego przez Muellera (1964). Od tego czasu wskaźnik ten wykorzystany został z powodzeniem w wielu badaniach (Whiteside 1970; Korhola 1992; Szeroczyńska 1998a; Sarmaja-Korjonen i Alhonen 1999; Zawiska i in. 2019). W celu weryfikacji tego wskaźnika przeprowadzono badania z wykorzystaniem subfosylnej fauny Cladocera i okrzemek. Wyniki uzyskane za pomocą tych dwóch różnych grup organizmów okazały się zgodne (Bradbury i Whiteside 1980; Hyvärinen i Alhonen 1994). Jednakże pojawiło się też wiele argumentów, które kwestionowały przydatność wskaźnika P/L do rekonstrukcji wahań poziomu wody. Wskazywano, że wzrost trofii jeziora może powodować wzrost frekwencji gatunków planktonicznych bez zmiany poziomu wody (Crisman i Whitehead 1978). Powodem wzrostu wskaźnika P/L może być także zmiana w strukturze gatunkowej zbiorowisk planktonowych i wzrost znaczenia Cladocera, których szczątki dobrze zachowują się w osadach (Bosminidae). Również zmiany w łańcuchu pokarmowym mogą powodować zmianę wskaźnika P/L. Wzrost presji ryb powoduje zazwyczaj zmniejszenie się populacji gatunków planktonowych i tym samym wzrost wartości wskaźnika. Jednak w tym wypadku nie znaczy to wcale, iż poziom wody był niższy. Hofmann (1998) zwrócił uwagę, że wielkość strefy litoralnej ma duży wpływ na wartość wskaźnika P/L i zmiana poziomu wody może zostać wychwycona z jego wykorzystaniem tylko wtedy, gdy wpłynie na zmianę powierzchni strefy przybrzeżnej.

Subfosylne wioślarki jako wskaźnik zmian żyzności wody

Wioślarki uważane są za organizmy wrażliwe na zmianę trofii i dlatego są wykorzystywane do rekonstrukcji zmian żyzności jezior (Whiteside 1970; Szeroczyńska 1991; Zawiska 2019; 2020). Jednakże uważa się, że trofia wody wpływa na wioślarki pośrednio, kiedy zmienia ich warunki życia, m.in. warunki tlenowe, występowanie roślinności wodnej (Hofmann 1987). Znane są Cladocera, które rzadko lub wcale nie występują w wodach eutroficznych, a także takie, które dobrze znoszą wysoką trofię (Flössner 2000).

Gatunki z rodziny Bosminidae uważane są za wrażliwe na zmiany żyzności wody. Wraz z jej wzrostem następuje wyparcie gatunku *Bosmina* (*E.*) *longispina* przez *Bosmina longirostris* (Hofmann 1987). Jednakże niektórzy badacze uważają, że zmiany w obrębie populacji Bosminidae mogą być również związane z presją ryb. Lotter i in. (1997) natomiast, badając małe jeziora alpejskie w Szwajcarii, znaleźli statystyczną zależność pomiędzy zawartością fosforu (TP) a Cladocera żyjącymi przy dnie. Zależność taką potwierdziły również wyniki badań prowadzonych przez Brodersena w 32 jeziorach duńskich (Brodersen i in. 2011). Zbadał on parametry chemiczne wody oraz skład fauny Cladocera osadów powierzchniowych. Uzyskane dane umożliwiły mu stworzenie modelu zależności wioślarek od fosforu całkowitego (TP).

Subfosylne wioślarki jako wskaźnik zmian pH

Zakwaszenie wód jeziora ma duży wpływ na zespół Cladocera. Powoduje zazwyczaj spadek różnorodności gatunkowej, zanik gatunków wrażliwych na zakwaszenie (*Daphnia longispina*-group) i zwiększenie frekwencji gatunków odpornych na niskie pH (*Alona guttata*, *Alonella exigua*, *Alonella excisa* i *Alonella nana*). Wskaźnikiem zakwaszenia jest również spadek frekwencji gatunku *Bosmina longirostris* przy jednoczesnym wzroście frekwencji gatunku *Bosmina* (*E.*) *longispina* (Korhola, Rautio 2001). Wiadomo, że fauna Cladocera reaguje na zmianę wielu czynników środowiskowych oddziałujących na jezioro z zewnątrz oraz będących wynikiem zmian zachodzących w samym jeziorze.

Jednak często problemem jest rozpoznanie, który z czynników środowiskowych wpłynął na zmianę składu czy frekwencji fauny wioślarek. Dlatego bardziej prawdziwą rekonstrukcję zmian środowiska w przeszłości otrzymuje się, jednocześnie wykorzystując wyniki kilku analiz: subfosylnych wioślarek, okrzemek, mięczaków, pyłku, makroskopowych szczątków roślin, wykonanych dla tego samego materiału (por. Rządziejewicz, w tym tomie; Kurzawska, w tym tomie; Kołaczek i in., w tym tomie; Moskal-del Hoyo, w tym tomie).

CHARAKTERYSTYKA METODY BADAWCZEJ

Analiza wioślarek jest stosowana do badań osadów, które akumulowały w zbiornikach wodnych. W sytuacji, gdy zbiornik wodny ciągle funkcjonuje, osady z dna pobiera się za pomocą specjalistycznego sprzętu. Umożliwia on pozyskanie niezaburzonych rdzeni osadów o miąższości do kilkunastu metrów nawet z głębokich jezior. Sondy do pobierania rdzeni montuje się na specjalnych pływających platformach (ryc. 4) lub, jeżeli zimą lód na jeziorach jest wystarczająco gruby, ustawia się je bezpośrednio na nim w wybranym przez siebie miejscu. Wydobycie rdzenia, który może mieć nawet 10-20 m długości, wymaga pracy kilku osób i zajmuje od jednego do kilku dni. Do pobierania powierzchniowej, najmłodszej i najbardziej uwodnionej warstwy osadów wykorzystuje się specjalne sondy produkowane przez polską firmę Limnos, a także wiele firm zagranicznych, np. firmy UVITEC.

Możliwe jest również pobranie osadów ze zbiorników, których misy już wypełniły się osadem, tzw. paleojezior. Górną warstwę takich zbiorników najczęściej stanowią torfy i wtedy pobór rdzeni jest możliwy z wykorzystaniem sondy Instorf (por. Kołaczek i in. w tym tomie).

Na odsłonięciach archeologicznych materiał do analizy powinien być pobierany z oczyszczonej ściany, od warstwy najniższej do najwyższej zdeponowanej. Należy zwrócić uwagę, aby materiał nie został zanieczyszczony osadem pochodzącym z innej warstwy. Ważne jest, żeby dobrze opisać pobraną próbkę (nazwa stanowiska, głębokość od – do, data), warto jest wziąć próbki z dużą rozdzielczością, np. co 1 cm. Zazwyczaj do badań pobiera się więcej materiału i wykonuje w nim szereg analiz mających na



Ryc. 4. Zdjęcie platformy z zainstalowaną sondą UVITEC do pobierania długich rdzeni osadów jeziornych umieszczona na Jeziorze Czechowskim. Fot. I. Zawiska

celu określenie różnych parametrów chemicznych próbki, a także składu gatunkowego zachowanych w nich szczątków organizmów (analiza okrzemkowa, malakologiczna, makroszczątków roślinnych).

Z pobranych próbek do analizy składu gatunkowego wioślarek pobiera się 1-2 cm³ osadu. Następnie w laboratorium osad zostaje przygotowany do analizy tak, aby w efekcie otrzymać roztwór zawierający głównie szczątki wioślarek. Standardowa metoda zaproponowana przez Freya (1968) zakłada, że każda próbka świeżego osadu jest gotowana w 10% roztworze KOH. Świeżą próbkę umieszczamy w zlewce o pojemności 250 ml i zalewamy 100 ml KOH, doprowadzamy do wrzenia i przenosimy na mieszadełko magnetyczne na 20 minut, do każdej próbki dodajemy magnes, który wiruje na dnie zlewki, doprowadzając do rozdrobnienia próbki. Warto pamiętać, że jeżeli w próbce jest dużo piasku, pomijamy ten etap, aby nie zniszczyć szczątków podczas wirowania na mieszadełku. Następnie próbki studzimy, przelewamy na sitko o średnicy oczek 38 µm i zalewamy 10% HCl w celu pozbycia się węglanów. Kolejnym krokiem jest polewanie sita wodą destylowaną po to, aby pozbyć się pozostałości użytych chemikaliów i wypłukać jak najwięcej zanieczyszczeń z próbki. Pozostałości znajdujące się na sicie przenosimy do probówek typu Falcon o pojemności 15 ml i uzupełniamy do objętości 10 ml wodą destylowaną. Tak przygotowana próbka jest

gotowa do przeprowadzenia mikroskopowej analizy składu gatunkowego wioślarek. Przed przystąpieniem do analizy do zawiesiny w probówce dodaje się kroplę safraniny (mieszanka sypkiej safraniny i gliceryny), która zabarwia szczątki na różowo i dzięki temu lepiej widoczne są szczegóły ich budowy. Następnie za pomocą pipety pobiera się 0,1 ml roztworu, rozprawdza na szkiełku podstawowym i przykrywa szkiełkiem nakrywkowym. Tak przygotowany preparat umieszcza się na stoliku mikroskopu biologicznego i ogląda, wykorzystując powiększenie 100×, 200× i 400×. Ogląda się cały preparat i zlicza wszystkie szczątki wioślarek (puszki głowowe, skorupki tułowiowe, postabdomeny, efipia) z podziałem na gatunki. Do identyfikacji szczątków najczęściej wykorzystywany jest atlas współautorstwa profesor Krystyny Szeroczyńskiej (Szeroczyńska, Sarmaja-Korjonen 2007), przydatna do tego jest również praca Flössnera (2000). Dla każdej próbki trzeba policzyć szczątki z 1-4 szkiełek, po to aby uzyskać minimalną wymaganą liczbę 70-100 osobników w próbce (Kurek i in. 2010). Wyżej wymieniona metoda prowadzi do przygotowania preparatów, które są jednorazowe i po analizie wyrzucane. Można też przygotowywać preparaty stałe mogące przetrwać nawet kilka lat, poprzez utrwalenie próbek gliceryną (Szeroczyńska, Sarmaja-Korjonen 2007).

Mając dane o ilości osobników każdego gatunku i znając liczbę przeanalizowanych szkiełek,

liczy się liczbę osobników w znanej objętości próbki (np. 1 cm³ osadu w 10 ml). Jeżeli zliczano osobniki na jednym szkiełku (0,1 ml roztworu), to liczbę osobników każdego gatunku mnoży się $\times 100$, jeżeli z dwóch szkiełek – to $\times 50$, z trzech – $\times 33$, z czterech – $\times 25$. Postępując w ten sposób otrzymuje się absolutną liczbę osobników wioślarek każdego gatunku w 1 cm³. Mając dane dotyczące wagi próbki, możemy przeliczyć nasze dane na liczbę osobników w 1 g materiału, a jeżeli wiemy ile lat sedimentacji przypada na 1 cm osadu, można policzyć, ile osobników wioślarek dostawało się do osadu w trakcie trwania 1 roku osobniki/centymetr²/rok (os./cm²/r.). Uzyskane absolutne wartości zawsze przelicza się na udziały procentowe, gdyż informacja o wzajemnych zależnościach między gatunkami czy grupami gatunków, określenie gatunków dominujących jest bardzo ważna przy interpretacji końcowych wyników analizy.

PREZENTACJA WYNIKÓW

Uzyskane wyniki analizy subfosalnych wioślarek najwygodniej przedstawia się z wykorzystaniem programu C2 (Juggins 2007); można również wykorzystywać do tego program POLPAL (Nalepka i Walanus 2003) oraz Tilia (Grimm 2012). Program C2 umożliwia tworzenie diagramów stratygraficznych prezentowanych na skali wieku i głębokości lub tylko głębokości (ryc. 5; ryc. 6). W programie tym można wykonać podstawową obróbkę graficzną diagramów, jednak wersję końcową warto jest udoskonalić, wykorzystując program CorelDraw. Dane do programu C2 przygotowuje się w programie Excel i zapisuje w wersji 97-2003. Pierwsza kolumna zatytułowana powinna być „ID”, a druga „Głębokość” – w obu kolumnach powinna być wpisana głębokość próbek. W kolejnych kolumnach umieszczone są zliczenia czy też udziały procentowe poszczególnych gatunków, w górnym wierszu umieszczamy ich nazwy. Wszystkie diagramy zamieszczone w tym rozdziale powstały według wyżej opisanej metody.

Na rycinie 5 zaprezentowano diagram procentowy wioślarek z jeziora Sekšu na Łotwie (Zawiska i in. 2020). Czarne wypełnienie wskazuje na udział procentowy danego gatunku, a linia zlokalizowana z prawej strony każdej krzywej pokazuje z przewyższeniem zmienność wartości pomiędzy próbkami. Wyniki zaprezentowane zostały w skali głębokości

i skali czasu, jednak nie zawsze ma się do dyspozycji wiarygodny model wiek-głębokość. W takiej sytuacji przedstawia się wyniki tylko na skali głębokości. Kolejny prezentowany diagram tak właśnie został zrobiony (ryc. 6), a czas określony został poprzez wydzielenie okresów Holocenu za pomocą analizy pyłkowej (Zawiska i in. 2019). Wyniki analizy wioślarek zaprezentowane są jako procent udziału każdego gatunku, a dodatkowo zamieszczono krzywą zależność gatunków pelagicznych do litoralnych (P/L). Na ostatnim diagramie widocznym na rycinie 7 zaprezentowana została krzywa frekwencji całkowitej wioślarek wyrażona jako liczba osobników na centymetr na rok – czyli jako opad (flux) (Zawiska i in. 2017). Tak przedstawione wyniki są przydatne do wnioskowania o zmianach produktywności – większa liczba osobników może oznaczać większą trofję zbiornika.

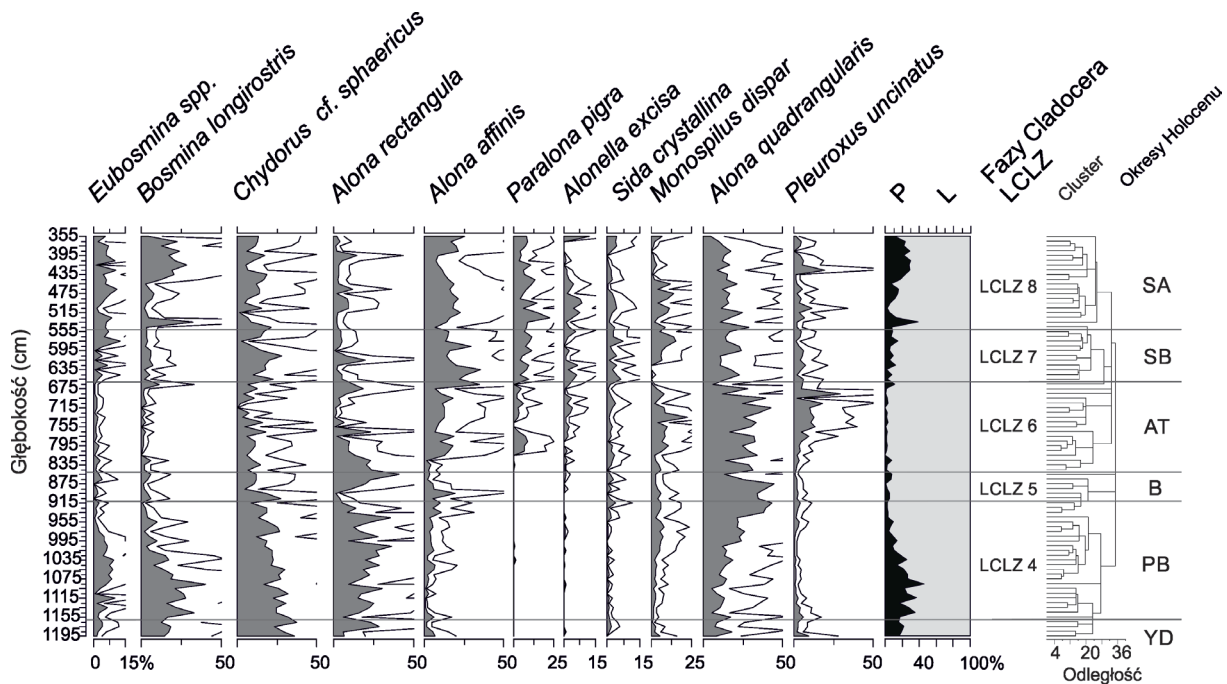
WYBRANE PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ANALIZY WIOŚLAREK W BADANIACH ARCHEOLOGICZNYCH

W badaniach archeologicznych najbardziej podstawowe zastosowanie analizy wioślarek polega na pomocy w określeniu genezy badanego osadu; jeżeli w pobranym na stanowisku materiale będą obecne szczątki wioślarek, wtedy z pewnością można stwierdzić, że akumulował on w zbiorniku wodnym. Analiza ta jest często wykorzystywana w kompleksowych badaniach archeologicznych do rekonstrukcji zmian środowiska przyrodniczego spowodowanych działalnością człowieka. Dostarcza również cennych dla archeologów informacji o warunkach życia badanej społeczności (Polcyn 1996). Jak już wspomniano wcześniej w tym rozdziale, wioślarki to organizmy szybko reagujące na zmiany środowiska, takie jak temperatura, zakwaszenie, trofia; z ich wykorzystaniem odtworzyć również można zmiany poziomu wody w zbiorniku naturalnych takim jak jezioro (Szeroczyńska 1991; 1998a; 2002; Polcyn 1996), a także w zbiornikach wybudowanych przez człowieka takich jak fosy. Osady pobrane z fosy grodu w Rozprzy pozwoliły na rekonstrukcję zmian środowiska zachodzących w jej pobliżu w okresie XIII-XIX w. (Kittel i in. 2018).

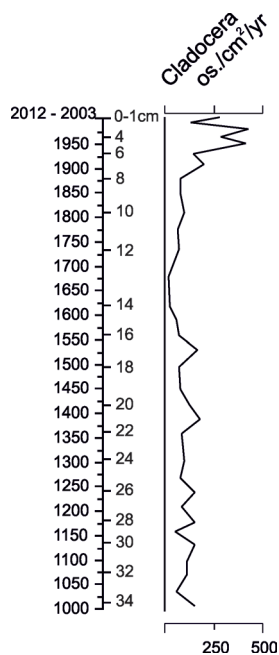
Analiza składu gatunkowego wioślarek z osadów umożliwia ocenę zmiany żyzności wód i w połączeniu z wynikami analizy palinologicznej pozwala



Ryc. 5. Diagram udziału procentowego gatunków wioślarek dla osadów jeziora Sekšu (Łotwa) zaczerpnięty z publikacji Zawiska i in. 2020



Ryc. 6. Diagram udziału procentowego gatunków wioślarek i wskaźnik P/L dla osadów jeziora Łukie (Polesie Lubelskie) zaczerpnięty z publikacji Zawiska i in. 2019



Ryc. 7. Diagram frekwencji całkowitej (suma liczby osobników wszystkich gatunków) w przeliczeniu na rok (flux) dla osadów jeziora Atna (Norwegia) zaczerpnięty z publikacji Zawiska i in. 2017

wnioskować, czy zmiany te były wynikiem działalności człowieka. Wzrost trofii może być efektem dostarczenia do zbiornika znacznej ilości biogenów – ścieków bytowych czy też powstałych w wyniku hodowli zwierząt domowych (Szeroczyńska 1991; 1998b; 2002; Polcyn 1996). Znaczący wpływ działalności człowieka na jezioro został udokumentowany m.in. w badaniach nad osadami jeziora Gopło (Mikulski 1978) czy jeziora Gościąg (Ralska-Jasiewiczowa i in. 1998). Wyraźny wpływ aktywności mezołitycznych społeczności zbieracko-łowieckich na środowisko przyrodnicze wykazany został w badaniach nad osadami jeziornych zachowanymi na stanowisku Kopanica. Analiza wioślarek była pomocna w udokumentowaniu okresów wzmożonej aktywności osadniczej, której efektem był wzrost żyzności wód zbiornika (Sobkowiak-Tabaka i in. 2019). Dzięki wykorzystaniu wyników analizy wioślarek możliwa jest też ocena wpływu na życie w jeziorze wybranych form działalności człowieka takich, jak moczenie łądyg konopi czy lnu (Kittel 2014).

Podsumowując, analiza szczątków wioślarek z osadów biogenicznych jest dobrym narzędziem do rekonstrukcji zmian środowiska, a szczególnie wpływu działalności człowieka na środowisko i jest doskonałym uzupełnieniem metod stosowanych w badaniach archeologicznych.

FINANSOWANIE

Materiały wykorzystane do napisania rozdziału powstały w wyniku realizacji grantu badawczego NCN 2016/23/D/ST10/03071 oraz grantu finansowanego z funduszy norweskich: FSS/2013/IIC/W/0022/U/0043.

LITERATURA

- Bradbury, J.P., Whiteside, M.C. 1980. Paleolimnology of two lakes in the Kutlan Glacier region, Yukon Territory, Canada. *Quaternary Research* 14: 149–168.
- Brodersen, K.P., Whiteside, M.C., Lindegaard C. 2011. Reconstruction of trophic state in Danish lakes using subfossil chydorid (Cladocera) assemblages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(5): 1093–1103.
- Crisman, T.L., Whitehead, D.R. 1978. Palaeolimnological studies on small New England (U.S.A.) ponds. II Cladoceran community responses to trophic oscillations. *Polish Archives of Hydrobiology* 25: 75–86.
- Duigan, C.A., Birks, H.H. 2000. The late-glacial and early-Holocene palaeoecology of cladoceran microfossil assemblages at Kråkenes, western Norway, with a quantitative reconstruction of temperature changes. *Journal of Paleolimnology* 23: 67–76.
- Flössner, D., 2000. *Die Haplopoda und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas*. Leiden, 1–425.
- Fryer, G. 1968. Evolution and Adaptive Radiation in the Chydoridae (Crustacea: Cladocera): A Study in Comparative Functional Morphology and Ecology. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, *Biological Sciences* 254(795): 221–382.
- Goslar, T. 1998. Holocene sediments of Lake Gościąg – chronological background, (w:) M. Ralska-Jasiewiczowa, T. Goslar, Madeyska, L. Starkel (red.), *Lake Gościąg, Central Poland*. Kraków.
- Grimm, E.C. TILIA Software; Illinois State Museum, Research and Collection Center: Springfield, IL, USA, 2012.
- Hann, B.J., Warner, B.G. 1987. Late Quaternary Cladocera from coastal British Columbia, Canada: A record of climatic or limnologic change? *Archiv für Hydrobiologie* 110: 161–177.
- Hofmann, W. 1998. Cladocerans and chironomids as indicators of lake level changes in north temperate lakes. *Journal of Paleolimnology* 19: 55–62.
- Hofmann, W. 1987. Cladocera in space and time: analysis of lake sediments. *Hydrobiologia* 145: 315–321.
- Hofmann, W. 1983. Stratigraphy of Cladocera and Chironomidae in a core from a shallow North German lake. *Hydrobiologia* 103: 235–239.
- Hyvärinen, H., Alhonen, P. 1994. Holocene lake-level changes in the Fennoscandian tree-line region, western Finnish Lapland: diatom and cladoceran evidence. *The Holocene* 4: 251–258.
- Juggins, S. 2007. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle.
- Kittel, P., Sikora, J., Antczak-Orlewska, O., Brooks, S., Elias, S., Krapiec, M., Luoto, T., Borówka, R., Okupny, D., Pawłowski, D., Płóciennik, M., Rzodkiewicz, M., Stachowicz-Rybka, R., Wacnik, A. (2018). The palaeoecological development of the Late Medieval moat – Multiproxy research at Rozprza, Central Poland. *Quaternary International* 482: 131–156. 10.1016/j.quaint.2018.03.026.
- Kittel, P., Muzolf, B., Płóciennik, 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 Lutemiersk-Koziówki, Central Poland, in the context of early modern hemp and flax processing. *Journal of Archaeological Science* 50: 318–337.
- Korhola, A. 1992. The Early Holocene hydrosere in a small acid hill-top basin studied using crustacean sedimentary remains. *Journal of Paleolimnology* 7: 1–22.
- Korhola A., Rautio, M. 2001. Cladocera and other branchiopod crustaceans, (w:) J.P. Smol, H.J.B. Birks, W.M. Last (red.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 4: Zoological Indicators*. Dordrecht, 5–41.
- Korhola, A., Tikkanen, M. 1991. Holocene development and early extreme acidification in a small hilltop lake in southern Finland. *Boreas* 20: 333–356.
- Kurek J., Korosi, J., Jeziorski, A., Smol, J.P. 2010. Establishing reliable minimum count size for cladoceran subfossils sampled from lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 44: 603–612. 10.1007/s10933-010-9440-6.
- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W., Marchetto, A. 1997. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology* 18: 395–420.
- Mikulski, J.S. 1978. Value of some biological indices in case histories of lakes, SIL Proceedings, 1922–2010, 20:2, 992–996, DOI: 10.1080/03680770.1977.11896634
- Mueller, W.P. 1964. The distribution of cladoceran remains in surficial sediments from three northern Indiana Lakes. *Invest. Indiana Lakes & Streams* 1: 1–63.
- Nalepka, D., Walanus A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica* 43(1): 125–134.
- Polcyn, I. 1996. Application of Cladocera analysis in archaeology. *Circaea* 11(2): 41–48.
- Ralska-Jasiewiczowa, M., Goslar, T., Madeyska, T., Starkel, L. (red.), 1998. *Lake Gościąg, Central Poland: A Monographic Study, Part 1*. Kraków, 340.

- Rybak, J.I., Błędzki, L.A. 2010. *Śladowodne skorupiaki planktonowe*. Warszawa.
- Sarmaja-Korjonen, K., Alhonen, P. 1999. Cladoceran and diatom evidence of lake-level fluctuations from a Finnish lake and the effect of aquatic-moss layers on microfossil assemblages. *Journal of Paleolimnology* 22: 277–290.
- Sobkowiak-Tabaka, I., Pawłowski, D., Milecka, K., Kubiak-Martens, L., Kostecki, R., Janczak-Kostecka, B., Goslar, T., Ratajczak-Szczerba, M. 2019. Multi-proxy records of Mesolithic activity in the Lubuskie Lakeland (western Poland). *Vegetation History and Archaeobotany* 29. 10.1007/s00334-019-00752-3.
- Szeroczyńska, K. 2002. Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea). *Quaternary International* 95(6): 165–174.
- Szeroczyńska, K. 1991. Impact of prehistoric settlements on the Cladocera in the sediments of Lake Suszek, Błędowo and Skrzetuszewskie. *Hydrobiologia* 225: 105–140.
- Szeroczyńska, K. 1998a. Wioślarki (Cladocera, Crustacea) jako źródło informacji w badaniach osadów jeziornych. *Studia Geologica Polonica* 112: 9–28.
- Szeroczyńska, K. 1998b. Anthropogenic transformation of nine lakes in Central Poland from Mesolithic to modern times in the light of Cladocera analysis. *Studia Geologica Polonica* 112: 123–165.
- Szeroczyńska, K., Sarmaja-Korjonen, K. 2007. *Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe*. Świecie.
- Szeroczyńska, K., Zawisza E. 2007. Paleolimnologia – historia rozwoju jezior w Polsce w świetle badań fauny wioślarek. *Studia Limnologica et Telmatologica* 1: 51–60.
- Tobolski, K. 2000. *Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych*. Warszawa.
- Whiteside, M.C. 1970. Danish Chydorid Cladocera: Modern ecology and core studies. *Ecol. Monogr.* 40: 79–118.
- Zawiska, I., Dimante-Deimantovica, I., Luoto, T.P., Rządziejewicz, M., Saarni, S., Stivrins, N., Tylmann, W., Lanka, A., Robeznieks, M., Jilbert, T. 2020. Long-Term Consequences of Water Pumping on the Ecosystem Functioning of Lake Sekšu, Latvia. *Water* 12: 1459.
- Zawiska, I., Apolinarska, K., Woszczyk, M. 2019. Holocene climate vs. catchment forcing on a shallow, eutrophic lake in eastern Poland. *Boreas* 48: 166–178.
- Zawiska, I., Luoto, T.P., Nevalainen, L., Tylmann, W., Jensen, T.C., Obremska, M., Słowiński, M., Woszczyk, M., Schartau, A.K., Walseng, B. 2017. Climate variability and lake ecosystem responses in western Scandinavia (Norway) during the last Millennium. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 466: 231–239.
- Zawiska, I., Zawisza, E., Wojewódka, M., Sinev, A.Y. 2016. Exploring the world of micro sculptures – subfossil Cladocera remains under the SEM. *Advances in Oceanography and Limnology* 7(2): 177–183.
- Zawiska, I., Słowiński, M., Correa-Metrio, A., Obremska, M., Luoto, T., Nevalainen, L., Woszczyk, M., Milecka, K. 2015. The response of a shallow lake and its catchment to Late Glacial climate changes – A case study from eastern Poland. *Catena* 126(0): 1–10.
- Zawiska, I., Zawisza, E., Wojewódka, M., Sinev, A.Y. 2016. Exploring the world of micro sculptures – subfossil Cladocera remains under the SEM. *Advances in Oceanography and Limnology* 7(2): 177–183.

