

Możliwości oceny rozwoju jezior w świetle badań palinologicznych

Krystyna Milecka

Zakład Biogeografii i Paleoekologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań
e-mail: milecka@amu.edu.pl

Wstęp

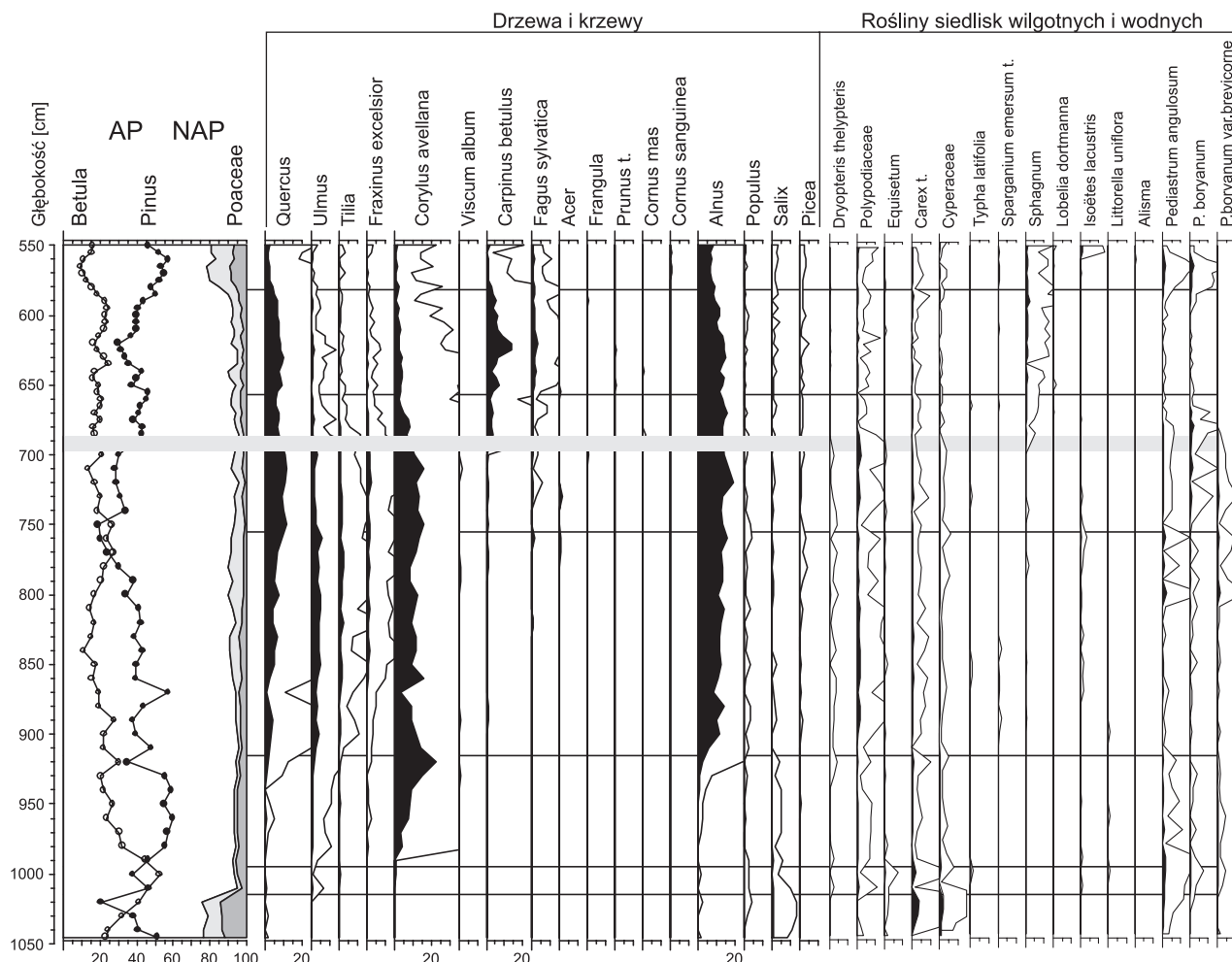
Analizę pyłkową, jako metodę badawczą, zastosował po raz pierwszy Leonard von Post w 1916 roku, kiedy ogłosił pierwsze wyniki palinologicznych badań torfowisk. Od tego momentu, już 90 lat, analiza pyłkowa zyskała uznanie nie tylko paleoekologów, ale także specjalistów wielu innych pokrewnych dziedzin związanych z badaniem współczesnego i przeszłego środowiska przyrodniczego. Odkrywanie przeszłości ekologicznej rozpoczęło się w Polsce m. in. od Pomorza i Borów Tucholskich (Paszewski 1934) oraz Puszczy Białowieskiej (Paszewski, Poznański 1936; Paszewski 1937), a dużą rolę w propagowaniu tej metody odegrał profesor Władysław Szafer. Nieco więcej o historii badań palinologicznych w Polsce znajdzie czytelnik w opracowaniu Sadowskiej i Chłopek (2003).

Istotnym elementem opracowań paleoekologicznych w kontekście analizy pyłkowej są osady jeziorne, jako archiwa gromadzące nośniki informacji o przeszłości. Należą do nich – doskonale w tychże osadach zachowane – ziarna pyłku i zarodniki roślin. Pozwalają one na odtworzenie parametrów klimatycznych i edaficznych z przeszłości przez wykorzystanie bioindykacyjnych właściwości niektórych gatunków roślin. Tolerancja organizmów na pewne, ilościowo zdefiniowane cechy środowiska w którym żyją, jest zróżnicowana, czasem szeroka, w innym przypadku niewielka. Organizmy o dużych możliwościach przystosowawczych, zdolne do życia w skrajnie odmiennych warunkach, często kosmopolityczne, nie są w tym względzie użyteczne. Natomiast te wymagające, dla których nawet relatywnie niewielkie zmiany są trudne do zaakceptowania, stanowią doskonale wskazówki zmian środowiskowych z przeszłości. Jeśli bowiem, nastąpiło niewielkie ocieplenie lub ochłodzenie klimatu, to nie zareagują rośliny o szerokiej skali ekologicznej czyli eurypowe, np. sosna lub brzoza, ale gatunki przystosowane do specyficznych warunków, stenotopowe, które pojawiają się lub zanikają sygnalizując zachodzące

zmiany. Dlatego np., do wskaźników późnego glaciału zaliczamy gatunki subarktyczne, dębik ośmiopłatkowy (*Dryas octopetala*) lub brzozę karłowatą (*Betula nana*), niewystępujące już po ociepleniu, w holocenie, natomiast klimat ciepły środkowego holocenu wskazują wymagające termicznie jemioła (*Viscum album*) i bluszcz (*Hedera helix*).

Badanie przeszłości jezior i ich otoczenia jako podstawa prognozowania przyszłości

Analiza palinologiczna w ciągu kilkudziesięciu lat rozwoju znalazła liczne zastosowania w limnologii, zwłaszcza w odniesieniu do badania przeszłości jezior oraz ich zlewni. Dla funkcjonowania jezior istotne są bowiem, nie tylko przemiany zachodzące w samym zbiorniku wodnym, ale również to, co dzieje się w ich otoczeniu. Wyraźnym tego przykładem są miękkowodne, oligotroficzne jeziora lobeliowe występujące w Polsce północno-zachodniej. Zachowanie ich skąpożywnego statusu zależne jest w znacznym stopniu od otaczających zbiorowisk roślinnych. Sprzyjają im lasy sosnowe na ubogich glebach o kwaśnym odczynie (podobnie jak woda jezior lobeliowych) oraz ekosystemy torfotwórcze funkcjonujące w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika, które pełnią rolę filtra ograniczającego dopływ substancji biogennych, a przez to eutrofizację. Zdecydowanie niszczący wpływ mają natomiast przekształcenia antropogeniczne, zwłaszcza związane z uprawą i intensywnym nawożeniem gleby. Tak więc dla rozwoju i utrzymania skąpożywnego charakteru jezior lobeliowych niezbędne jest poznanie równoległej przeszłości otaczających biocenoz, co umożliwi prognozowanie kierunków dalszych przekształceń i sprecyzowanie metod oraz działań ochronnych na terenie parków narodowych i rezerwatów. Historię regionalnych (leśnych) i lokalnych (w tym wodnych) zbiorowisk roślinnych w zlewni jeziora Nierybno przedstawia ryc. 1.



Ryc. 1. Historia regionalnych i lokalnych zbiorowisk roślinnych w otoczeniu jeziora Nierbno ilustrowana diagramem pyłkowym. Wybrane krzywe.

Palinologia a wyznaczanie chronologii

Opracowanie historii regionalnych zbiorowisk roślinnych pozwala na odniesienia czasowe, czyli określenie wieku zdarzeń i etapów rozwoju jeziora. Zdefiniowanie regionalnej sukcesji roślinnej w danym terenie na podstawie kilku stanowisk o sprecyzowanej chronologii umożliwia odniesienie, np. faz zmiennej zasobności zbiornika w substancje odżywcze do poszczególnych okresów holocenu (ryc. 2). Charakterystyczne epizody historii regionalnej roślinności są wyznacznikiem czasowym przekształceń zachodzących w samej misie jeziornej i zbiorowiskach lokalnych bez konieczności odnoszenia się do metod datowania bezwzględnych takich, jak analizy radiometryczne lub dendrochronologiczne. Zdarzenia zachodzące pod wpływem klimatu, w tym zanik roślinności światłolubnej i rozwój zbiorowisk leśnych na przełomie późny gólań/holocen, pojawienie się gatunków mezofilnych w starszym holocenie, np. leszczyny (*Corylus avellana*) albo obniżenie udziału

wiązu (*Ulmus* sp.) w zbiorowiskach lasów liściastych optimum klimatycznego jednocześnie ściśle wyznaczają czas wydarzeń lokalnych zachodzących w obrębie misy jeziornej. Przykładem może być dokładna, bezwzględna chronologia opracowana dla regionalnej roślinności na podstawie profilu osadów z jeziora Ostrowite w Borach Tucholskich, która jest podstawą do korelacji nie tylko zdarzeń z przeszłości samego jeziora (ryc. 2), ale też innych zbiorników zachodniej części Borów. Ponadto, diagramy palinologiczne pozwalają na odtworzenie i obliczenie tempa akumulacji osadów, odzwierciedlając miąższość warstw gromadzonych podczas kolejnych etapów sukcesyjnych szaty roślinnej. Dokładne obliczenie tempa akumulacji osadów wymaga datowania bezwzględne i szczegółowych obliczeń, jednak analiza pyłkowa dostarcza informacji ogólnych i porównawczych, umożliwiając korelacje regionalne.

Jezioro Ostrowite

Lata ¹⁴ C BP	okresy holocenu wg Mangerud et al. 1974	bioindykatory palinologiczne					Wody jeziora
		zbirowiska roślinne	rośliny wodne i telmatyczne	Pediastrum	Diatomae	Cladocera	
2500	SA	lasososnowe, zbirowiska otwarte	Typha latifolia Potamogeton Nymphaea	P. boryanum	Tabellaria flocculosa Aulacoseira islandica F. construens F. brevistriata	Leydigia sp. Alona rectangula	mezotroficzne, obojętne eutroficzne, zasadowe
	SB	lasososnowo-grabowe z udziałem sosny	Cladium mariscus Typha latifolia Cladium mariscus	P. boryanum – nieliczne	F. construens Achnanthes clevei Cyclotella radiosa	B. longirostris Chydorus sphaericus	eu- i mezotroficzne zasadowe
5000	AT	lasososnowo-leszczynowe	Potamogeton Typha latifolia	P. boryanum – nieliczne	C. ocellata Amphora pediculus C. cyclopuncta C. comensis	B. longirostris Chydorus sphaericus Daphnia longispina	mezotroficzne, zasadowe oligo- mezotroficzne, kwaśne
8000	BO	lasososnowo-brzozowe z licznym udziałem leszczyny	Polypodiaceae Sphagnum Sparganium emersum	—	C. delicatula C. cyclopuncta	B. coregoni B. longispina	mezotroficzne, kwaśne
9000	PB	luźne lasy brzozowo-sosnowe	Polypodiaceae	—	C. comensis C. cyclopuncta C. radiosa	Bosminidae P. trigonellus A. quadrang.	mezotroficzne, obojętne
10000	MD	tundra, zbirowiska stepowe rośliny światłolubne i zimnolubne	Equisetum Sphagnum	P. boryanum	F. construens F. brevistriata F. pinnata	B. longirostris	eutroficzne, zasadowe

Ryc. 2. Bezwzględna chronologia opracowana dla rdzenia osadów z jeziora Ostrowite w Borach Tucholskich pozwala na korelację zdarzeń lokalnych i regionalnych. Przykładem może być relacja pomiędzy sukcesją zbiorowisk leśnych, a fazami zmiennej zasobności wód jeziora (na podst. Milecka 2005, zmienione).

Analiza pyłkowa w biogeografii roślin wodnych i telmatycznych

Analiza pyłkowa pozwala na odtworzenie przeszłości poszczególnych gatunków lub rodzajów¹ roślin. Najłatwiej tę historię prześledzić na podstawie map izopolowych². Najczęściej są one opracowane dla gatunków laso-

¹ W zależności od tego, jaka jest ranga taksonomiczna rozpoznawanego typu pyłkowego. Może to być gatunek np. pałka szerokolistna (*Typha latifolia*), rodzaj, np. wierzba (*Ulmus* sp.) lub rodzina np. komosowate (*Chenopodiaceae*). Z punktu widzenia interpretacji paleoekologicznych, limnologicznych i bioindykacji najkorzystniejsze jest oczywiście rozpoznanie najdokładniejsze, czyli gatunków.

² Przygotowanie takich map jest, niestety, pracochłonne. Wymaga zebrania wszystkich diagramów pyłkowych z określonego regionu, które zawierają wybrany takson i mają opracowaną dokładną chronologię

twórczych, jak dąb, wierzba czy grab lub taksonów wskaźnikowych dla działalności człowieka np. zboża, bylice, szczaw. Odtwarzanie historii drzew jest istotne również w odniesieniu do limnologii (zwłaszcza paleolimnologii) w ujęciu zagadnień poruszonych wyżej. Bezpośrednio przydatne są natomiast mapy wskazujące pojawienie się i rozprzestrzenienie gatunków związanych bezpośrednio ze zbiornikiem je-

umożliwiająca korelację czasową i ilustrację zmian zachodzących równocześnie na wszystkich analizowanych stanowiskach. W ostatnich latach ukazało się opracowanie map izopolowych dla Polski (Ralska-Jasiewiczowa et al. red. 2004). Stanowi ono swoiste podsumowanie badań palinologicznych prowadzonych na terenie całego kraju przez kilkadziesiąt lat.

ziornym. Przykładem może być pałka szerokolistna, gatunek ziemnowodny, występujący w strefie litoralnej jezior. Pałka szerokolistna należy do roślin wskaźnikowych, czyli bioindykatorów, sygnalizując poziom wody i jego zmiany w czasie. Pałka wskazuje także zmiany klimatyczne, gdyż jest uważana za roślinę ciepłego klimatu strefy umiarkowanej (Ellenberg et al. 1991) i występuje na obszarach o średniej temperaturze lipca nie niższej, niż 14°C (Iversen 1973). Jest równocześnie wskaźnikiem żyzności jeziora, występując w zbiornikach eutroficznych (Zarzycki et al. 2002) o wysokiej zawartości azotu (Ellenberg et al. 1991). Tak więc pojawienie się pałki szerokolistnej w osadach jeziornych odzwierciedla nie tylko zmiany makroklimatyczne, regionalne, ale też lokalne cechy środowiska w którym występuje.

Bioindykacja aktywności człowieka i zmian trofii w świetle badań palinologicznych

Osadnictwo i aktywność gospodarcza człowieka od, co najmniej, kilku tysięcy lat mają wpływ na ekosystemy kuli ziemskiej, przekształcając je stopniowo coraz intensywniej. W Europie środkowej jest to szczególnie widoczne od okresu wczesnośredniowiecznego. Antropopresja powoduje zmiany spektakularne takie, jak przekształcenia krajobrazu czy eliminacja lub introdukcja wielu gatunków, ale również długofalowe procesy zachodzące w przyrodzie, identyfikowane na podstawie długiej i dokładnej obserwacji, badań porównawczych lub precyzyjnych pomiarów wybranych parametrów środowiska. Do tych ostatnich czynników należy eutrofizacja gleb i jezior zachodząca równoległe z postępującym zaawansowaniem technologicznym działań gospodarczych człowieka. Jest ona doskonale monitorowana przez badania paleoekologiczne z zastosowaniem różnych metod. Analiza pyłkowa rejestruje obecność lub zanik roślin o specyficznych wymaganiach troficznych. Na ubogich glebach występują np. borówki (*Vaccinium vitis-idea*, *V. myrtillus*), mchy torfowce (*Sphagnum* sp.), a w skąpożywnych wodach lobelia jeziorna (*Lobelia dortmanna*) i poryblin (*Isoëtes lacustris* lub *I. echinospora*). Siedliska żyzne wskazują grąźel żółty (*Nuphar lutea*), grzybieniec biały (*Nymphaea alba*) czy pływacz zwyczajny (*Utricularia vulgaris*). Inne metody badań paleolimnologicznych również doskonale rejestrują zmiany trofii wód jeziornych. Należą do nich omawiana w tym tomie analiza szczątków makroskopowych roślin (Kowalewski, w tym tomie), analiza kopalnych wioślarek (Szeroczyńska, w tym tomie), badania subfosylnych okrzemek (np. Bubak, Bogaczewicz-Adamczak 2005) i inne. Każda z tych metod opiera się na bioindykacyjnej wymowie organizmów żywych, a raczej ich pozostałości zachowanej w osadach organicznych, jeziornych lub torfowych.

Analiza osadów organicznych i bioindykacyjna rola glonów

Analiza pyłkowa pozwala identyfikować pochodzenie osadów organicznych. Często możliwe jest łatwe, wizualne odróżnienie osadów limnicznych od terestrycznych. W wielu przypadkach mamy jednak wątpliwości, czy opisywane warstwy są pochodzenia sedymentacyjnego³ i możemy je opisać jako np. gytię grubodetrytusową czy też były akumulowane w procesie sedentacji⁴ i w efekcie powstał torf. Makroskopowo te dwa rodzaje osadów, o całkowicie odmiennej genezie, mogą być bardzo podobne. Analiza pyłkowa umożliwia niezawodne zdefiniowanie ich pochodzenia i niektórych cech charakterystycznych przez identyfikację organizmów żyjących w środowisku wodnym. Ich obecność w postaci ziaren pyłku lub zarodników wskazuje akumulację osadów w płytkiej lub głębokiej wodzie (w zależności od taksonów). Doskonałym wskaźnikiem wodnego środowiska akumulacji osadów są również tzw. niepyłkowe palinomorfy, do których należy wiele gatunków glonów. Nie ulegają one zniszczeniu podczas inwazyjnego procesu chemicznego przygotowania prób osadów do analizy pyłkowej, a dzięki charakterystycznej budowie są łatwo rozpoznawalne. Do tej grupy należą, przede wszystkim, rutynowo notowane glony *Pediastrum*, wśród których identyfikowanych jest szereg gatunków o własnościach bioindykacyjnych w odniesieniu do cech środowiska jeziornego w którym się rozwijały. Np. *Pediastrum boryanum* występuje w wodach eutroficznych, podobnie jak *P. duplex*, które jednak szczególnie często pojawia się podczas faz osadniczych i intensywnego wpływu gospodarki człowieka na środowisko przyrodnicze (ryc. 3). *P. angulosum* jest charakterystyczne dla wód chłodnych (późny glacjał) i/lub czystych (jeziora skąpożywnie). Poza rodzajem *Pediastrum* oznaczane mogą być inne glony o różnej wartości wskaźnikowej (*Scenedesmus*, *Coelastrum*, *Tetraedron*, *Botryococcus* i inne) ale ich obecność zawsze jest świadectwem wodnego środowiska akumulacji, czyli genezy limnicznej osadów organicznych. Podobne świadectwo stanowią nie oznaczane (podczas analizy pyłkowej), lecz często widoczne okrzemki lub fragmenty wioślarek, które rozwijają się jedynie w jeziornych i/lub morskich zbiornikach akumulacji biogenicznej. Całkowity brak organizmów wodnych wymienionych powyżej świadczy o gromadzeniu się osadu pochodzenia sedymentacyjnego, czyli jego genezie terestrycznej.

³ Sedymentacja – powstawanie osadów poprzez gromadzenie na dnie zbiornika jeziornego szczątków uprzednio zawieszonych w toni wodnej lub wniesionych do jeziora z otoczenia

⁴ Sedentacja – osady biogeniczne powstają na drodze gromadzenia przyrastającej na powierzchni autochtonicznej materii roślinnej.

Wahania poziomu wody

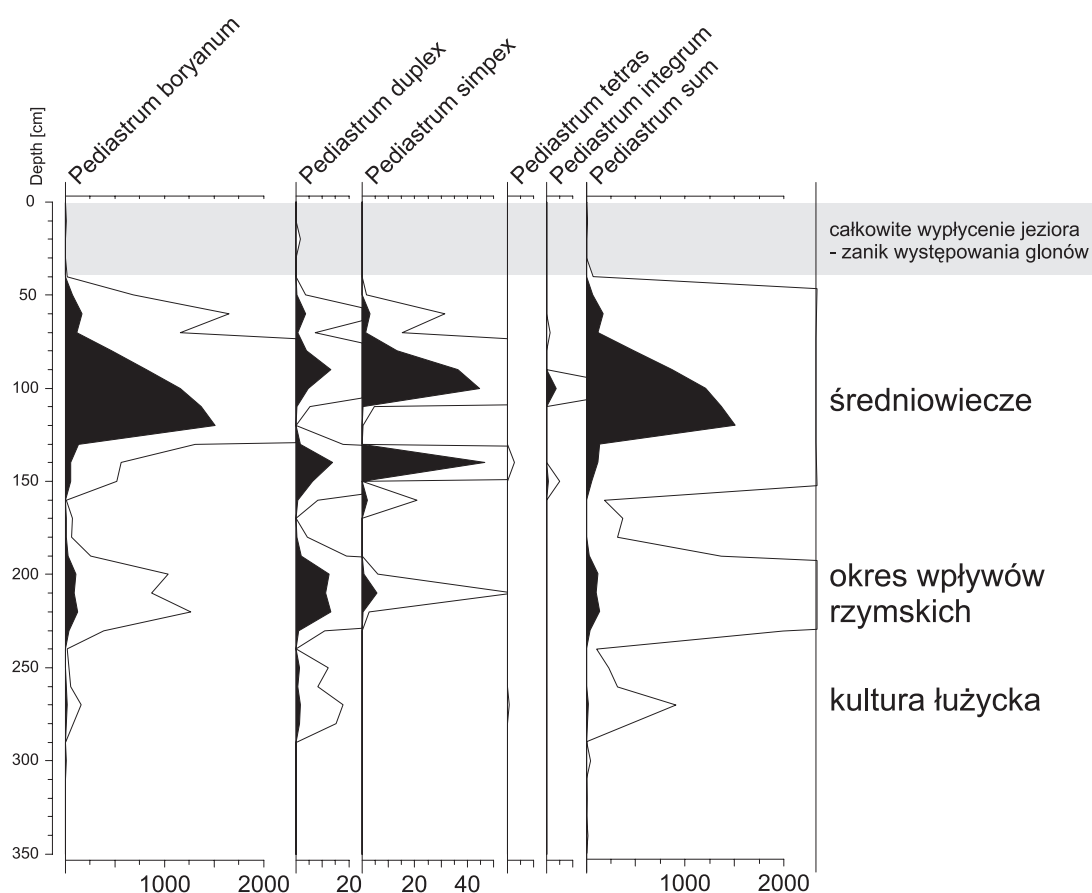
Z występowaniem organizmów wodnych wiąże się także możliwość oceny wahań poziomu wody w zbiornikach jeziornych. Kolejne po sobie następujące nagromadzenia glonów przejawiające się w diagramach pyłkowych kulminacjami krzywych odzwierciedlających ich ilościowy udział w osadach na tle składników roślinności regionalnej ilustrują podwyższony poziom wody i możliwość rozwoju planktonu. Spadek ich zawartości lub gwałtowny zanik oznacza obniżenie poziomu wody i zanik zbiornika z otwartym lustrem wody (ryc. 3). Kolejno po sobie następujące kulminacje występowania oraz depresje między nimi można czasowo korelować z regionalną sukcesją roślinności i w ten sposób oznaczać ich wiek, jednocześnie wiążąc te zjawiska w relacjach przyczynowo-skutkowych.

Podsumowanie

Przytoczone wyżej przykłady zastosowania analizy pyłkowej do badań limnologicznych nie wyczerpują w żaden sposób ich rozległych możliwości, a są jedynie wskazaniem niektórych, często wykorzystywanych, kierunków badań.

Poniżej zestawiono przykłady zastosowań analizy pyłkowej w odniesieniu do przeszłości ekosystemów lądowych, wpływających na funkcjonowanie jezior:

1. Analiza przebiegu sukcesji roślinności (przemiany postglacjalnych zbiorowisk roślinnych oraz holocenska historia lasów).
2. Opracowanie biostratygrafii holocenu.
3. Chronologia zdarzeń w przeszłości ekosystemów.
4. Historia wybranych taksonów, w tym istotnych gatunków lasotwórczych.
5. Wpływ człowieka na zbiorowiska roślinne i florę (zmiana relacji powierzchni lasów i terenów otwartych, formy użytkowania terenu przez człowieka, wprowadzanie nowych gatunków roślin, wskaźniki wypasu i upraw, itd.).
6. Korelacja chronologiczna poszczególnych stanowisk.



Ryc. 3. Zmienny udział glonów *Pediastrum* w osadach limnicznych kopalnego zbiornika w Gieczu. Kulminacje *P. boryanum*, *P. duplex* i *P. simplex* wskazują fazy aktywności gospodarczej człowieka i intensywne osadnictwo w okolicach stanowiska. Zanik występowania glonów w najmłodszej warstwie osadów świadczy o całkowitym wypłyleniu jeziora.

Bezpośrednio do badań ekosystemów jeziornych odnoszą się:

7. Wskazanie pochodzenia osadów organicznych (możliwość rozróżnienia osadów limnicznych od terestrycznych).
8. Odtworzenie układu warstw i przyrostu masy osadów (tempo akumulacji) na podstawie pełnej analizy rdzeni lub ekspertyzowego datowania palinologicznego.
9. Odtworzenie wahań poziomu wody na podstawie palinologicznej analizy rdzeni strefy litoralnej.
10. Śledzenie rozwoju danego zbiorowiska roślin wodnych, naczyniowych na podstawie obecności w osadach ziaren pyłku tych gatunków.
11. Możliwość określenia wybranych cech środowiska i klimatu na podstawie bioindykacyjnej wymowy niektórych składników wodnych zbiorowisk roślinnych.
12. powstanie i przemiany specyficznych ekosystemów (np. torfowisk kotłowych, miękkwodnych jezior lobeliowych itp.).

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, że w badaniach odnoszących się do przeszłości analiza pyłkowa jest podstawową metodą, pozwalającą na odtworzenie cech środowiska przyrodniczego. Dzięki powszechności występowania ziaren pyłku w atmosferze (aeroplanktonie) i zaawansowanym możliwościom ich identyfikacji znajduje zastosowanie w licznych dziedzinach badań współczesnych, w tym w limnologii i paleolimnologii. Odtworzenie listy florystycznej, zbiorowisk i ekosystemów z przeszłości, w poszczególnych horyzontach czasowych, prowadzi do wnioskowań odnośnie zjawisk lokalnych istotnych w danym zbiorniku, ale także zdarzeń regionalnych wpływających na funkcjonowanie jezior.

Literatura

- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-248.
- Iversen J. 1973. The development of Denmark's nature since the last glacial. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* 5 (7C): 1-127.
- Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Donner J.J. 1974. Quaternary Stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3: 109-128.
- Milecka K. 2005. Historia jezior lobeliowych zachodniej części Borów Tucholskich na tle postglacjalnego rozwoju szaty leśnej. Wyd. Naukowe UAM, Poznań: 1-249.
- Paszewski A. 1934. Uwagi o historii lasów na Pomorzu w świetle analizy pyłkowej. *Acta Soc. Bot. Pol. Suplem.*: 262-284.
- Paszewski A., 1937. Dalsze badania nad historią lasów Puszczy Białowieskiej na podstawie analizy pyłkowej torfowisk. *Roczniki Nauk. Roln. i Leś.* 36 (1): 183-187.
- Paszewski A., Poznański F., 1936, Materiały do historii lasów Puszczy Białowieskiej, *Roczn. Nauk. Roln. i Leśn.* 36: 58-67,
- Sadowska A., Chłopek K. 2003. Historia badań. W: S. Dybowa-Jachowicz, A. Sadowska (red.) *Palinologia*. Wyd. Ins. Botaniki, Kraków: 10-13.
- Zarzycki K., Trzcińska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski. *Różnorodność biologiczna Polski*, vol. 2. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków: 1-183.