

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



Palinologia

Piotr Kołaczek, Monika Karpińska-Kołaczek, Sambor Czerwiński,
Katarzyna Marcisz, Mariusz Lamentowicz

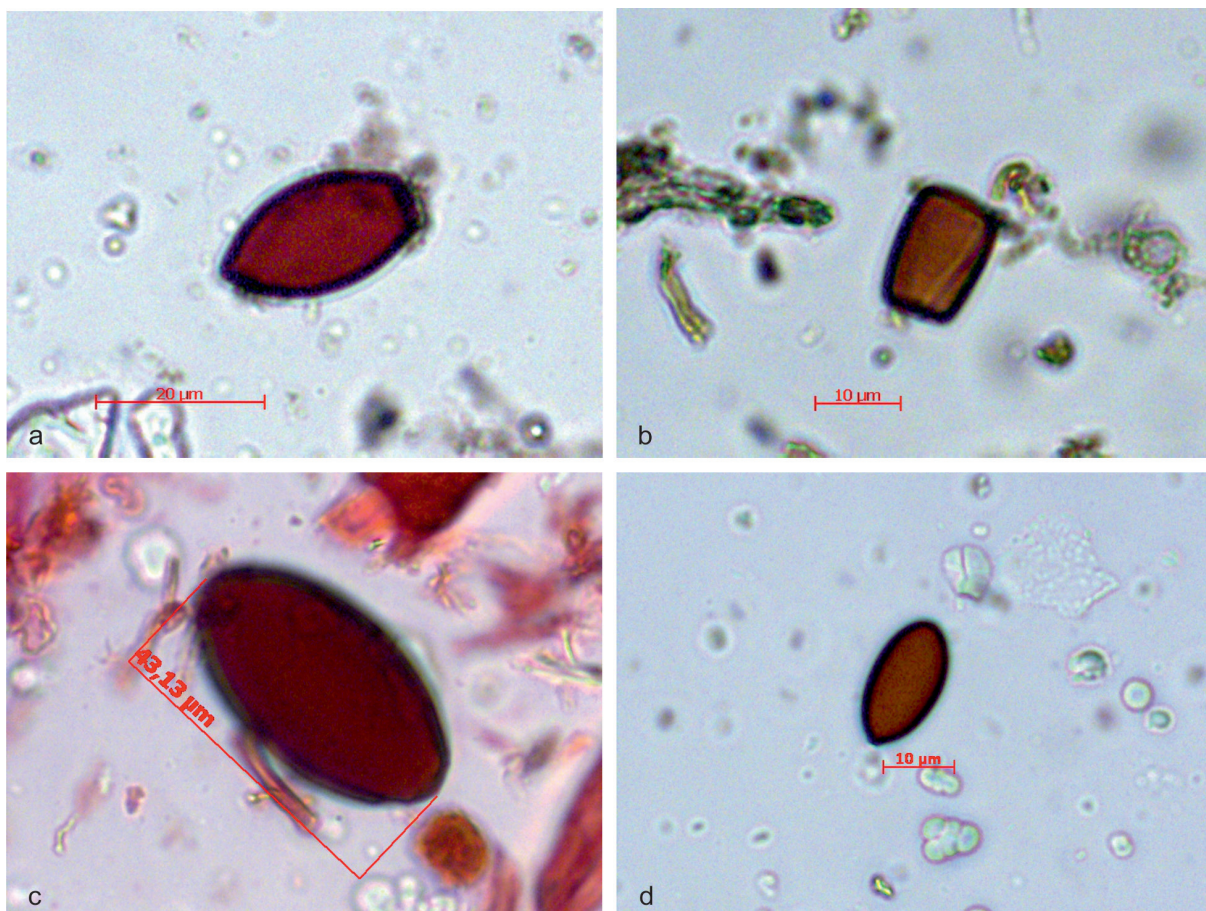
WSTĘP

Ziarna pyłku roślin naczyniowych są mikroskopijnymi kapsułami przenoszącymi męskie komórki rozrodcze w pobliżu ich żeńskich analogów, co skutkuje zapylaniem kwiatu i rozwojem owocu. Jednak, jak wszystkie komórki, również i te rozrodcze są wrażliwe na utratę wody. Aby uniknąć ich wysuszenia, ściana tej „kapsuły” zbudowana jest ze stosunkowo grubej zewnętrznej warstwy – egzyny, której materiałem budulcowym jest bardzo stabilna chemicznie sporopolenina (Moore i in. 1991). Ta cecha sprawia, że kiedy ziarno pyłku trafi np. na glebę, jest odporne na działanie szkodliwych czynników zewnętrznych. Jeśli dodatkowo środowisko, w którym takie ziarno pyłku zostaje zdeponowane, jest wilgotne i ubogie w tlen, wówczas może ono przetrwać setki, tysiące, a nawet miliony lat pogrzebane pod kolejnymi osadami (Moore i in. 1991). Stąd też najlepszymi archiwami paleoekologicznymi są jeziora i torfowiska, w których akumulują się różne pozostałości pochodzenia organicznego i nieorganicznego, m.in. pyłek roślin. Dzięki dużej wilgotności i niedoborze tlenu rozkład materii organicznej jest spowolniony, co pozwala na skuteczne archiwizowanie różnych mikrofosyliów (Campbell 1991; Campbell i Campbell 1994). Badania nad pyłkiem są domeną palinologii (od greckich słów: *palynejn* – rozpraszać, rozsiewać,

pole – drobny pył, mąka, *logos* – słowo, nauka), a w przypadku kopalnych ziaren pyłku mówimy o paleopalinologii (Sadowska i Chłopek 2003).

Jednakże podczas badań paleopalinologicznych można trafić nie tylko na pyłek. Zachowują się również szczątki zwierząt, roślin, protistów, grzybów, glonów, sinic czy mikroskopijnego węgla. Te mikrofosylia, które towarzyszą ziarnom pyłku, nazywają się zbiorczo palinomorfami niepyłkowymi (ang. *non-pollen palynomorphs*, ryc. 1). One również mogą być identyfikowane i liczone podczas analiz palinologicznych, dostarczając wielu cennych informacji o funkcjonowaniu dawnych ekosystemów i działalności człowieka (van Geel 1978; van Geel i Aptroot 2006). Z kolei oznaczając i licząc mikroskopijne fragmenty węgla (ryc. 2), można uzyskać informacje na temat pożarów, które występowały w przeszłości, w tym tych związanych z wypalaniem lasów, czy innych zbiorowisk roślinnych przez człowieka (Whitlock i Larsen 2001).

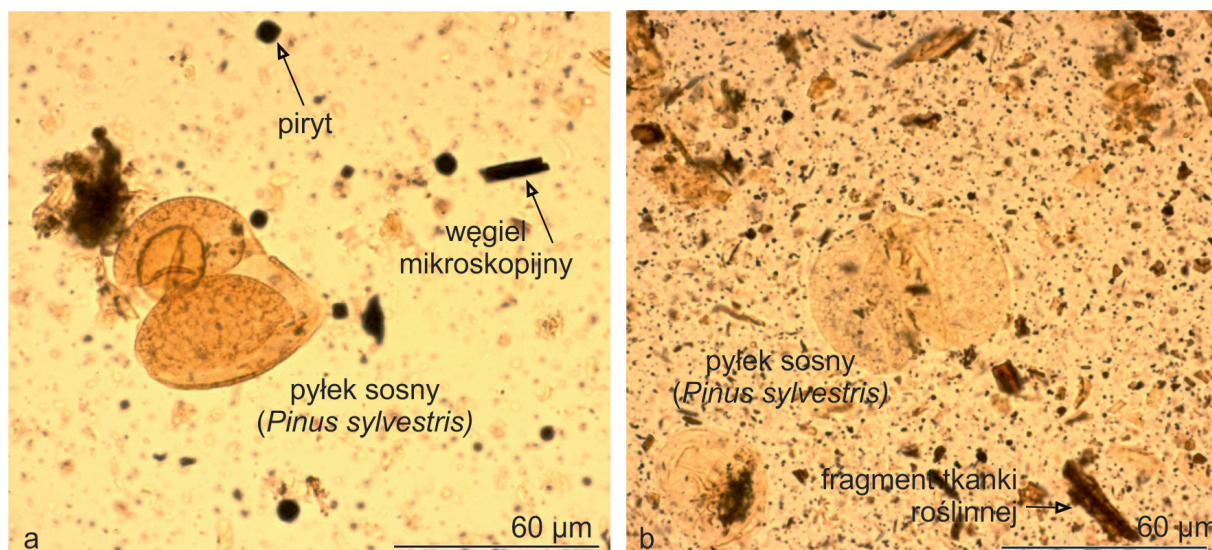
Analiza palinologiczna może również wspierać badania archeologiczne i historyczne, gdyż pozwala na odtworzenie składu i struktury roślinności, w której funkcjonował niegdyś człowiek. Ponadto sam człowiek kształtował środowisko, a efektem jego działalności były np. wylesienia. Widoczne są one jako spadki udziałów pyłku produkowanego przez drzewa i krzewy i/lub pojawienie się pyłku gatunków drzew i krzewów stanowiących pierwsze



Ryc. 1. Zarodniki grzybów koprofilnych jako przykład palinomorf niepyłkowych (NPPs) oznaczanych w próbach palinologicznych: a – HdV-112 *Cercophora* typ; b – HdV-113 *Sporormiella* typ; c – HdV-368 *Podospora* typ; d – BRN-7. Fot. M. Karpińska-Kołaczek

etapy sukcesji na terenach wcześniej wylesionych. Najcenniejszymi dowodami na działalność człowieka, które palinolog może zidentyfikować pod mikroskopem, są ziarna pyłku zbóż świadczące o obecności pól uprawnych. Można również znaleźć bardziej subtelne ślady, takie jak grzyby koprofilne (tj. rozwijające się na odchodach, ryc. 1), które mogą wskazywać na intensyfikację działalności pasterskiej (Stivrins i in. 2015; Florenzano 2019; Dietre i in. 2020). W końcu to człowiek, wprowadzając zwierzęta pasterskie, przyczynił się do zwiększenia liczby roślinożerców w ekosystemach, a te do zwiększenia ilości odchodów będących pożywką dla tych grzybów. Jednakże najnowsze badania pokazują, że nie zawsze biomasa roślinożerców jest dobrze odzwierciedlona w ilości zachowanych w osadzie grzybów koprofilnych (Davies 2019; van Asperen i in. 2020; Shumilovskikh i van Geel 2020). Wraz z przyływem danych dokumentujących pojawianie się poszczególnych taksonów

pyłkowych w okresach zintensyfikowanej działalności człowieka, podjęto szereg prób klasyfikacji pyłkowych indykatorów działalności człowieka (Behre 1981; Poska i in. 2004). Choć trzeba tu zaznaczyć, że tego typu listy indykatorów pyłkowych mogą różnić się w zależności od obszaru dla którego zostały stworzone, dlatego należy je traktować z dużą dozą ostrożności. Wynika to z faktu, że tylko w wyjątkowych przypadkach konkretny typ pyłkowy jest tożsamy z jednym gatunkiem rośliny. Najczęściej poszczególne typy pyłkowe można przyporządkować do wielu gatunków, które mogą występować w skrajnie różnych siedliskach (Beug 2004). Stąd też dobrze jest, gdy badacz ma dodatkowo do dyspozycji wyniki analizy szczątków makroskopowych roślin (te można z dużo większą pewnością identyfikować do poziomu gatunku), które umożliwią wytypowanie „producentów” znajdującego w osadach pyłku. Równie ważne jest rozpoznanie typu archiwum paleoekologicznego, tzn.



Ryc. 2. Obraz spod mikroskopu świetlnego w zależności od analizowanego typu osadu: a – gytja jeziorna (stanowisko Bruszczevo, woj. wielkopolskie) – lepiej zachowane ziarna pyłku, problemem jest odróżnienie węgla od ziaren pirytu; b – rozłożony torf (stanowisko Bruszczevo, woj. wielkopolskie) – znacznie gorzej zachowane ziarna pyłku, większa ilość nieoznaczalnych szczątków organicznych. Fot. P. Kołaczek

określenie, czy mamy do czynienia z torfowiskiem, jeziorem, dawną fosą czy jeszcze innym typem stanowiska. Z tego powodu duże znaczenie mają też prace terenowe i umiejętność identyfikacji osadów biogenicznych (Tobolski 2000). Jednak aby w pełni wykorzystać potencjał badanego archiwum, dobrze jest korzystać z różnych analiz paleoekologicznych, które wzajemnie się dopełniają i pozwalają możliwie najlepiej opisać przeszłość.

Historia badań palinologicznych na stanowiskach archeologicznych sięga lat 50. XX w., kiedy analizie pyłkowej poddano materiał z kurhanów w północnych Niderlandach (Waterbolck 1956). Jednakże rozwój badań palinologicznych nad kurhanami i innymi typami grobowców przypadł dopiero na lata 80. i 90. XX w. (np. Casparie i Groenman-van Waateringe 1980; Andersen 1988; Makohonienko i in. 1998). Innymi obiektami archeologicznymi analizowanymi przez palinologów są fosy, rowy melioracyjne, groble i inne stanowiska w miejscach podmokłych (np. Troels-Smith 1959). Badane one były także na obszarze Polski (Wasylikowa i in. 1985; Latałowa 1999; Kittel i in. 2018). W ostatnim dziesięcioleciu dobrym przykładem badań palinologicznych są te prowadzone na materiale z fosy w Malborku, opublikowane przez Browna i Pluskowskiego (2011). Ponadto ważną gałęzią badań archeologicznych, angażującą analizy palinologiczne, są studia nad

zmianami środowiskowymi w miastach w przeszłości. Modelowym przykładem połączenia badań archeologicznych z palinologicznymi na terenie Polski mogą być badania z obszaru Gdańska (np. Święta-Musznicka i in. 2013; 2021). Przykłady zastosowania analizy palinologicznej w badaniach archeologicznych i historycznych można byłoby mnożyć i pewnie byłby to materiał na obszerną pozycję książkową. Zresztą szerszy zarys historii i rozwoju zastosowania palinologii w takich badaniach przedstawiała już Latałowa (2003). Stąd niniejsze opracowanie dotyczy jedynie wybranych aspektów użycia analiz palinologicznych w badaniach archeologicznych, w dużej części opartych na bezpośrednich doświadczeniach autorów niniejszej pracy.

METODOLOGIA BADAŃ PALINOLOGICZNYCH: Z OSADU DO KOMPUTERA

Pierwszym etapem prac jest wytypowanie stanowiska do badań palinologicznych, co jest kluczowe dla późniejszej interpretacji wyników. Generalnie, im większy zbiornik, z którego pobierane są osady, tym większy zasięg ma obszar objęty rekonstrukcją (Jacobson i Bradshaw 1981). Zbiorniki niewielkie, takie jak nieduże jeziora czy torfowiska kotłowe, akumulują pyłek, który został wyprodukowany

przez rośliny rosnące w niewielkiej odległości od zbiornika lub w nim samym. Jednakże pyłek może być transportowany z miejsc położonych w różnej odległości od zbiornika akumulacyjnego. Przykładowo pyłek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) może pochodzić zarówno z krawędzi, jak i z samego torfowiska, ale również z obszaru oddalonego nawet o kilka kilometrów, a z kolei pyłek turzyc (*Cyperaceae*) pochodzi najprawdopodobniej z najbliższego otoczenia stanowiska. Wiąże się to z wysokością, na której znajdują się pylniki, oraz różnym tempem opadania ziaren pyłku. Te lżejsze lub mające budowę spowalniającą opadanie, tym samym dłużej utrzymujące się w powietrzu, oraz produkowane na wyższych wysokościach będą przemieszczały się na dalsze odległości (por. Dyakowska 1937). Próby ze stanowisk archeologicznych i próbki glebowe reprezentują skrajnie lokalny zapis pyłkowy, stąd też większość pyłku w takich osadach będzie pochodziła bezpośrednio ze stanowiska lub jego najbliższego sąsiedztwa. Jeśli chcemy uzyskać jak najdokładniejszy obraz wpływu człowieka na środowisko, rdzeń z osadami biogenicznymi powinien zostać pobrany z jeziora lub torfowiska położonego w możliwie najbliższym sąsiedztwie stanowiska archeologicznego. Jednakże kombinacja stanowisk palinologicznych z dużych obiektów reprezentujących regionalny zapis paleośrodowiskowy, obiektów w otoczeniu stanowiska archeologicznego oraz pobór prób do analizy palinologicznej bezpośrednio z warstw archeologicznych powinny pomóc w wielowymiarowej rekonstrukcji zmian środowiska – od bardzo lokalnych po regionalne.

Pobór prób

Kiedy już wytypujemy stanowisko badawcze, kolejnym etapem jest pobranie i identyfikacja osadów biogenicznych. Kluczowy jest taki ich pobór, który nie zaburzy stratygrafii, czyli kolejności warstw. Do tego celu wykorzystuje się specjalistyczne próbniki, z których najbardziej popularne są próbnik typu rosyjskiego (zmodyfikowana wersja – Instorf; por. Moore i in. 1991) i próbnik Więckowskiego (Więckowski 1961). W przypadku stanowisk archeologicznych praktykowane jest pobieranie sekwencji osadów ze ścian odkrywek (Tobolski 2000). Co ważne, w takich sytuacjach należy dokładnie oczyścić osad i dokonać w miarę szybkiego poboru materiału tak, żeby nie

doszło do zanieczyszczenia pyłkiem obecnym w powietrzu. Pobrane profile należy też jak najszybciej zabezpieczyć, żeby nie wysychały i nie uległy żadnym uszkodzeniom mechanicznym podczas transportu. W tym celu umieszcza się je w różnego rodzaju ry-nienkach, szczelnie owijając folią, aby spowolnić proces wysychania. Następnie profile powinny trafić do chłodziń lub zostać zamrożone, żeby uniknąć rozwoju grzybów czy innych mikroorganizmów na martwej materii organicznej. Takie grzyby mogłyby nie tylko dawać fałszywy sygnał wzorców palinomorf niepyłkowych, ale też "odmłodzić" wiek radiowęglowy osadów biogenicznych (Wohlfarth i in. 1998).

W laboratorium

Po pobraniu niezaburzonego profilu osadów można przystąpić do próbkowania pod kątem analizy palinologicznej. Gęstość próbkowania będzie wpływała na szczegółowość otrzymanych wyników. Przy próbach pobranych w dużych interwałach głębokości, np. co 10 cm i więcej, wyniki będą obarczone dużą niepewnością. Przykładowo, jeśli nie będzie sygnału interesującej nas zmiany, to można zadać pytanie: czy ślad tego ważnego epizodu nie znalazł się na odcinku pomiędzy próbami? Stąd coraz popularniejsze są analizy w ciągłej rozdzielczości (co 1 cm, a nawet co 0,5 cm odstępu pomiędzy próbami), tym samym każda pobrana próba łączy się stratygraficznie z kolejną (np. Milecka i in. 2017; Czerwiński i in. 2021). Wówczas nie ma żadnych niezbadanych fragmentów i wcześniejsze pytanie staje się bezzasadne. Oczywiście w praktyce taka ciągła rozdzielczość prób wymusza analizę relatywnie krótkich serii czasowych i nie ma realnej możliwości przeanalizowania kilku metrów jednego profilu. Najczęściej, w pierwszej kolejności, wykonuje się analizę palinologiczną w niskiej rozdzielczości (co 10-20 cm), a następnie datuje metodą radiowęglową (^{14}C) wybrane fragmenty profilu. W ten sposób odszukujemy najbardziej interesujące odcinki profilu i w ich obrębie zwiększamy rozdzielczość analiz i datowań. Ważne jest, żeby już na początku opróbować profil w jak największej rozdzielczości, co w przyszłości pozwoli na lepszy dobór prób do analiz. Niemniej jednak nie zawsze zagęszczenie prób jest niezbędne i ostatecznie to badacz decyduje, jaka rozdzielczość analiz będzie najlepsza dla rozwiązania problemu badawczego.

Zanim wybrane próby trafią pod mikroskop, muszą zostać poddane obróbce chemicznej (Faegri i in. 1989). Jej celem jest pozbycie się wszelkich możliwych zanieczyszczeń, które mogłyby utrudnić wykonanie preparatów mikroskopowych czy identyfikację materiału palinologicznego pod mikroskopem. Przykładowo, jedna z procedur zakłada zastosowanie: (i) 10 % kwasu chlorowodorowego (HCl) w celu usunięcia węglanów, (ii) gotowania w 10% wodorotlenku potasu (KOH), żeby usunąć kwasy huminowe oraz (iii) zalania próby 40% kwasem fluorowodorowym w celu usunięcia krzemionki. Kolejnym etapem jest tzw. acetoliza Erdtmanna (1960) mająca na celu usunięcie całej pozostałej treści organicznej z ziaren pyłku i spor, pozostawiając zewnętrzną warstwę sporopoleniny (wspomnianą we wstępie „kapsułę”), co znacznie ułatwia oznaczanie pyłku pod mikroskopem świetlnym. Na wczesnych etapach obróbki laboratoryjnej często dodaje się znaną liczbę ziaren lub spor indykatora, który pozwala na oszacowanie koncentracji pyłku (Stockmarr 1971). Takim indykatorem może być pyłek jakiegoś łatwego do zidentyfikowania i egzotycznego dla analizowanego materiału gatunku (np. *Eucalyptus* dla materiałów z Europy) lub taksonu rzadkiego w danej strefie klimatycznej (np. zarodniki *Lycopodium*). W warunkach europejskich najczęściej stosuje się tabletki o znanej liczbie spor gatunku *Lycopodium clavatum*, produkowane przez Uniwersytet w Lund. Przygotowany w laboratorium materiał zatapia się w glicerynie, żeby ułatwić sporządzenie preparatów mikroskopowych. Przedostatnim etapem przygotowania danych palinologicznych jest analiza mikroskopowa. Kropla przetworzonego laboratoryjnie osadu, osobno z każdej próby, trafia na szkiełko mikroskopowe i jest poddawana obserwacji. Preparaty przeglądane są pod mikroskopem świetlnym, pod powiększeniami 400× i rzadziej 1000×. Większe powiększenie stosuje się w przypadku identyfikacji niewielkich taksonów (<15 µm) lub posiadających bardzo drobne elementy struktury na powierzchni pyłku, np. oczka siateczki o średnicy mniejszej niż 1 µm. Taksony pyłkowe oznacza się i zlicza w pasach, zazwyczaj z powierzchni co najmniej połowy szkiełka nakrywkowego, do osiągnięcia interesującej nas liczby ziaren pyłku (wyłączając taksony wodne i błotne oraz rośliny zarodnikowe). Zazwyczaj liczy się do 500 ziaren pyłku roślin drzewiastych (ang. *arboreal pollen*, AP), ale należy pamiętać, że większa

liczba zwiększa prawdopodobieństwo znalezienia taksonów rzadkich, tj. pochodzących od roślin produkujących niewielkie ilości pyłku (Birks i Birks 1980). Te z kolei mogą reprezentować interesujące z punktu widzenia badań archeologicznych rośliny uprawne lub chwasty. Jest to ważne także w czasie interpretowania wyników palinologicznych. Jeśli rdzenie do badań pozyskano z dużego jeziora, wówczas obraz nawet dobrze rozwiniętej w przeszłości osady może być mocno rozmyty. Wynika to z faktu, że wiele gatunków roślin związanych z działalnością człowieka produkuje pyłek o małej lotności, odmiennie niż większość drzew, co skutkuje tym, że nie zawsze dociera on na środek dużego jeziora czy torfowiska. Ważne jest więc takie ustalenie liczby zliczanych ziaren, aby ograniczyć problemy z interpretacją wyników. Jednakże kiedy pyłek jest silnie zniszczony, doliczenie do 500 ziaren jest niezwykle trudne, a czasem nawet niemożliwe. Często należy wykonać wiele preparatów i poświęcić wiele godzin, żeby przeanalizować jedną próbę. Co gorsza, niektóre taksony pyłkowe szybciej ulegają rozkładowi i nawet duża liczba zliczonych ziaren może nie wystarczyć, aby uzyskać pełny obraz roślinności w przeszłości. Ponadto, w zależności od rodzaju osadu i jego wieku stan zachowania pyłku może być różny. W osadach, w których panował kwaśny odczyn i duża wilgotność (warunki beztlenowe), ziarna pyłku będą najlepiej zachowane (Campbell 1991; Campbell i Campbell 1994). Z kolei warunki, w których osady podlegają częstemu przesuszaniu (napowietrzaniu), nie będą sprzyjały konserwacji pyłku, dlatego stan jego zachowania może utrudniać lub nawet uniemożliwiać identyfikację. Do oznaczania pyłku stosuje się klucze i atlasy, które dla Europy są szczegółowo opracowane (np. Moore i in. 1991; Beug 2004). Ponadto wykorzystuje się zbiory preparatów porównawczych, tj. preparatów z oznaczonym pyłkiem współczesnych gatunków roślin. Najbogatsza kolekcja w Polsce znajduje się w Instytucie Botaniki PAN w Krakowie. Część zielników ma zdigitalizowane zbiory pyłkowe i udostępnia je na stronach internetowych (np. <https://globalpollenproject.org/>). O wiele trudniej jest w przypadku palinomorf niepyłkowych, dla których nie ma zbiorów porównawczych oraz atlasów, a większość informacji na ich temat jest rozproszona po licznych publikacjach. Typy palinomorf niepyłkowych mają swoją specjalną numerację, która często uwzględnia nazwę ośrodka, z którego

pochodził opisujący je badacz (np. HdV-X – Hugo de Vries University, Amsterdam; głównie palinomorfy niepyłkowe opisane przez Basa van Geela – prekursora analizy palinomorf niepyłkowych; van Geel 1978; Miola 2012) lub stanowiska (np. BRN-X; Feeser i O'Connell 2010). W ostatnich latach podjęto próbę zgromadzenia informacji o wszystkich poznanych palinomorfach w jednym miejscu, w otwartej elektronicznej bazie danych (<http://nonpollenpalynomorphs.tsu.ru/>), jednakże pomimo ciągłego rozwoju jest ona wciąż niekompletna, a typów palinomorf niepyłkowych wciąż przybywa.

Po przeanalizowaniu preparatu mikroskopowego, można go jeszcze przez jakiś czas przechowywać, zabezpieczając przed wysuszeniem brzoگی szkiełka nakrywkowego (np. żywicą). Preparaty zabezpiecza się, żeby mieć możliwość późniejszego sprawdzenia trudno oznaczalnych taksonów, jednak praktyka ta należy obecnie do rzadkości. Ważniejsze jest zostawienie materiału do analiz, zabezpieczonego w probówkach. Taki materiał może przetrwać wiele lat i jeśli ma dodany indykator, to można taką próbę ponownie przeanalizować i dołączyć nowe wyniki do już istniejących. W ten sposób można również uzupełnić uzyskane wcześniej wyniki o nowe analizy, np. palinomorf niepyłkowych czy węgla mikroskopijnego.

Integracja danych

Ostatnim etapem przygotowania danych palinologicznych jest stworzenie diagramu zmian udziałów poszczególnych taksonów pyłkowych. Używa się do tego specjalistycznych programów komputerowych, z których najczęściej wybieranymi w Polsce są POLPAL (Nalepka i Walanus 2003) i TILIA (Grimm 1992). Diagramy palinologiczne można wygenerować, stosując wartości procentowe, tempo akumulacji lub koncentrację. W pierwszym przypadku wylicza się wartość procentową udziałów pyłku danego taksonu w próbce, w stosunku do tzw. sumy totalnej pyłku (z wyłączeniem zarodników oraz taksonów wodnych i błotnych). Wartości te są względne, a metoda jest czuła na nagłe wzrosty udziałów poszczególnych taksonów, dlatego ważna jest możliwie najdokładniejsza identyfikacja taksonów lokalnych. Przy tempie akumulacji pyłku wartości są bezwzględne (jednostka to np. liczba ziaren/cm²/rok). Niezbędne jest jednak poprawne oszacowanie

koncentracji pyłku w próbce (dzięki dodaniu znanej liczby łatwo oznaczalnych sporomorów, patrz wyżej) oraz tempa akumulacji osadów/torfu (tu niezbędna jest wysoka rozdzielczość datowań radiowęglowych i rzetelnie wyliczony model wieku-głębokość), co generuje większe koszty analizy. W ostatnim przypadku, podobnie jak przy tempie akumulacji pyłku, otrzymuje się wartości bezwzględne, ale bez niezbędnego oszacowania tempa akumulacji osadów. Metody te mają swoje wady, ale zestawienie wyników procentowych z tempem akumulacji pyłku pozwala na uniknięcie wielu potencjalnych błędów interpretacyjnych.

Tak w uproszeniu przedstawia się droga powstania i zobrazowania danych pyłkowych, które następnie są interpretowane, aby określić środowiskowy kontekst badań archeologicznych. Należy również wspomnieć, że wyniki analiz palinologicznych mogą być jeszcze poddane analizom statystycznym w celu wzmocnienia interpretacji danych oraz znalezienia powiązań z wynikami innych badań przeprowadzonych na stanowisku, zwłaszcza tych niewidocznych lub słabo widocznych „gołym okiem” (Birks 2019).

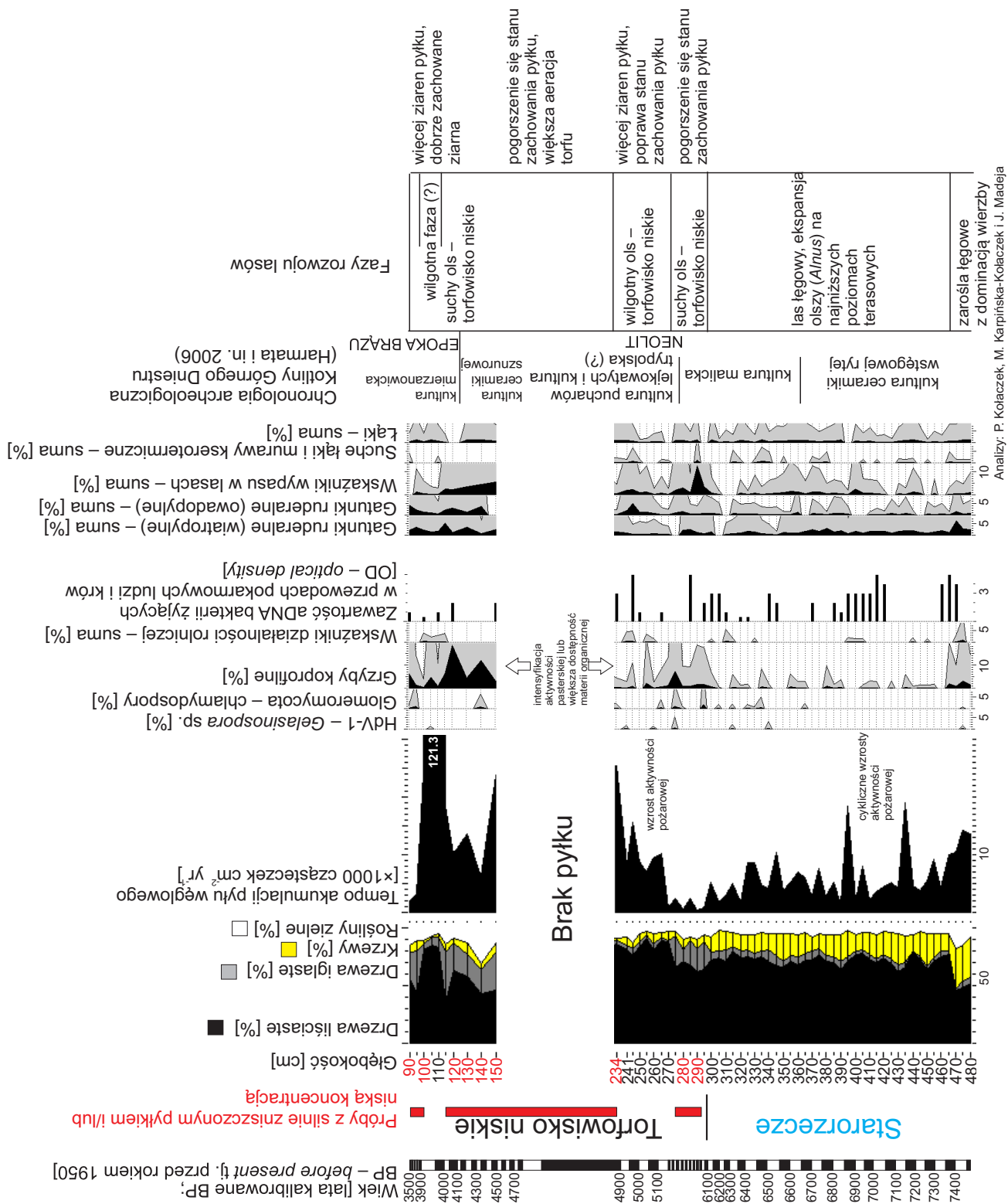
Różne oblicza pyłku – starorzecza

Osadnictwo w pradziejach często było lokowane w pobliżu cieków czy zbiorników wodnych, które są miejscem akumulacji osadów biogenicznych, przez co stanowią archiwa paleoekologiczne doskonale przechowujące materiał pyłkowy. Spośród różnych typów jezior, starorzecza stanowią bardzo specyficzną grupę zbiorników, które powstają wskutek transformacji wód płynących w stojące, poprzez odcięcie zakola rzeki w trakcie epizodów powodziowych (Page 2004). W przeszłości okolice tego typu zbiorników stanowiły często atrakcyjne miejsca dla osadnictwa, więc mogły rejestrować palinologiczny sygnał wpływu osadnictwa na lokalne ekosystemy, a przez to stać się ważnymi obiektami dla rekonstrukcji zmian szaty roślinnej w kontekście badań archeologicznych. Niestety zbiorniki te podlegają wahaniom poziomu wody, co nie sprzyja dobremu zachowaniu ziaren pyłku. Ponadto torfowisko rozwijające się w miejscu starorzecza na skutek sukcesji ekologicznej jest podatne na ekspansję gatunków łąkowych, a wiele z nich produkuje ziarna pyłku klasyfikowane jako wskaźniki gospodarki człowieka (P. Kołaczek, obserwacja

własna). Może to niekorzystnie wpływać na poprawność rekonstrukcji zmian środowiska w przeszłości. Poza tym, ze względu na stosunkowo wąski kształt, starorzecza rejestrują zapis roślinności lokalnej lub znajdującej się w niewielkim oddaleniu od zbiornika. Kiedy przekształcają się w torfowiska, wówczas jeszcze mocniej reprezentowana jest roślinność lokalna (rosnąca na torfowisku) (Kołaczek i in. 2018a). Jednakże często z braku innej możliwości dane palinologiczne z tego typu zbiorników akumulacyjnych są wykorzystywane w multidyscyplinarnych badaniach archeologicznych (Kołaczek 2007; 2010; 2011; Kołaczek i in. 2016). Należy jednak pamiętać, że potencjalne sygnały wylesień w spektrach pyłkowych, zapisanych w ich osadach/torfie, powinno się interpretować z dużą dozą ostrożności.

Przykładem badań palinologicznych w ramach projektu archeologicznego były studia nad wpływem kultur neolitycznych i wczesnobrzozywych na środowisko naturalne w widłach Łomnicy i Dniestru (Kołaczek i in. 2016; ryc. 3). W badaniach tych, równolegle do kompleksowej analizy palinologicznej, została wykonana analiza obecności kopalnego DNA (ang. *ancient DNA*, aDNA) bakterii występujących w jelitach ludzi i bydła (Madeja i in. 2009) (por. Chyleński, w tym tomie). To pozwoliło na oszacowanie relatywnych zmian gęstości zaludnienia i/lub częstości przebywania ludzi w pobliżu starorzecza, a później torfowiska. Interesującym wynikiem była rozbieżność w czasie pomiędzy zapisem pyłkowym taksonów pochodzących prawdopodobnie od zbóż i zapisem kopalnego DNA sugerującego obecność człowieka. Można to tłumaczyć występowaniem gatunków traw produkujących ziarna pyłku zbliżone kształtem i wielkością do pyłku zbóż (Beug 2004). Mógł być to też efekt utrzymywania się w ekosystemie zbóż z wcześniej uprawianych, a następnie opuszczonych obszarów. W zapisie kopalnym szczególną uwagę zwraca okres obecności przedstawicieli wczesnoneolitycznej kultury ceramiki wstęgowej rytej, która reprezentowana była na badanym obszarze przez znikomą liczbę artefaktów archeologicznych. W tym okresie, w osadach starorzecza, wyraźnie zaznaczyły się dwie fazy z regularnie występującym aDNA wspomnianych bakterii oraz pojedynczymi znaleziskami ziaren pyłku w typie zbóż (*Cerealialia* typ). Może to sugerować, że siedzi-by ludzkie znajdowały się w stosunkowo bliskiej odległości od zbiornika, natomiast pola uprawne były

lokowane w pewnym oddaleniu od osady i starorzecza. W warstwach torfu odpowiadających okresowi późnoneolitycznej kultury ceramiki sznurowej oraz początkowemu etapowi epoki brązu zaobserwowano wzrost udziałów grzybów koprofilnych wskazujących na potencjalny wzrost presji pasterskiej w zlewni zbiornika (ryc. 1 i 3; Stivirins i in. 2015; Florenzano 2019; Dietre i in. 2020). Jednakże również w tym przypadku można podać alternatywne wyjaśnienie. Rozwój torfowiska i wiążąca się z tym intensywniejsza dekompozycja materii organicznej mogły spowodować zwiększenie liczebności zarodników grzybów uważanych za koprofilne. Niektóre z tych grzybów mogą bowiem rozwijać się również na martwej, rozkładającej się materii organicznej (np. grzyby z rodzaju *Cercophora*; Lundqvist 1972, za: van Geel i Aptroot 2006). Stąd też dla potwierdzenia obecności odchodów roślino- i wszystkożernych gatunków zwierząt ważna jest różnorodność taksonomiczna tych grzybów. Występowanie wielu taksonów jednocześnie może skłaniać do uznania wzrostu presji pasterskiej za przyczynę zmian. Taka sytuacja została stwierdzona w warstwach torfu reprezentujących udokumentowane okresy ekspansji ludności pasterskiej w Karpatach Zachodnich (Margielewski i in. 2011; Kołaczek i in. 2020). Jak wspomniano wcześniej, akumulacja torfu w dawnych starorzeczach nie sprzyja dobremu zachowaniu ziaren pyłku, co w znaczący sposób utrudnia interpretację. W wielu przypadkach długie odcinki profili torfowych są trudne do interpretacji, czego przykładem mogą być badania wypełnień starorzecza Kotliny Sandomierskiej (Kołaczek 2007; 2010; 2011). Analiza palinologiczna wykazała nadreprezentację taksonów pyłkowych, które są łatwe do oznaczenia nawet w przypadku złego stanu zachowania. Do takich taksonów należy sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*; ryc. 3), której pyłek, pomimo dużej podatności na zniszczenia podczas fosylizacji, często zachowuje swoje cechy diagnostyczne. Dlatego spektra pyłkowe w silnie rozłożonym torfie często sugerują obecność lasu sosnowego w otoczeniu stanowiska, podczas gdy sosna była prawdopodobnie jedynie domieszką w takich lasach (np. stanowisko Jarosław-Kruchel w Kotlinie Sandomierskiej; Kołaczek 2011). Jednak stopień zniszczenia pyłku może stanowić również istotną wskazówkę przydatną przy interpretacji wyników. Dla przykładu, nagła poprawa stanu zachowania pyłku może sugerować dłuższy okres panowania warunków beztlenowych,



Ryc. 3. Diagram palinologiczny ze starorzcza w Cwitoj (na podstawie Kołaczek i in. 2016). Wykonany w programie POLPAL

spowodowanych np. podniesieniem się poziomu wody na torfowisku, co może świadczyć o zwilgotnieniu klimatu. Do takiej sytuacji doszło w profilu z Cvitovej, gdzie zmiana warunków z jeziornych na torfowiskowe (ryc. 3) spowodowała znaczne pogorszenie się stanu zachowania pyłku oraz spadek jego koncentracji. Około 3200 lat p.n.e (5150 lat kal. BP; BP – lat przed 1950 r.) koncentracja pyłku wzrosła, a wraz z nią poprawił się stan jego zachowania, co zostało zinterpretowane jako podniesienie się poziomu wody (potencjalne zwilgotnienie klimatu).

Podsumowując, należy podkreślić, że starorzecza i torfowiska na nich rozwinięte to trudne pod względem interpretacji wyników archiwu paleoekologiczne. Zły stan zachowania pyłku oraz luki depozycyjne w osadzie mogą skutkować błędnymi interpretacjami dotyczącymi paleośrodowiska i działalności człowieka. Pomimo tylu negatywnych aspektów w badaniach archeologicznych starorzecza są często jedynymi dostępnymi archiwami paleośrodowiskowymi gromadzącymi pyłek. Dlatego jeżeli mamy obszar, na którym jedynymi archiwami są wypełnienia starorzeczy, należy poszukiwać osadów pochodzenia jeziornego (jeśli to możliwe), które konserwują pyłek lepiej niż silnie rozłożony torf.

PYŁEK ZE STANOWISK ARCHEOLOGICZNYCH – MIĘDZY ZNISZCZENIEM A ZANIECZYSZCZENIEM

Analizy palinologiczne wykonuje się również bezpośrednio na próbach ze stanowisk archeologicznych. Jako przykłady można wymienić badania dotyczące neolitu z Kraju Nadmorskiego (wschodnia Rosja, Chlachula i in. 2015) oraz neolitu i brązu z centralnej Macedonii (północna Grecja; Niebieszczański i in. 2019). W przypadku stanowiska z Kraju Nadmorskiego próby pobierane były ze ściany wykopu, natomiast w przypadku stanowiska w centralnej Macedonii próby pobrano z niewielkiego zagłębienia bezodpływowego, tuż przy stanowisku archeologicznym. Oba te stanowiska, pomimo różnych warunków klimatycznych w jakich zachodziła akumulacja pyłku w osadach, cechowały się znacznym stopniem zniszczenia materiału pyłkowego. Stało się tak, ponieważ depozycja w warunkach zmiennej wilgotności, powodujących sekwencję kurczenia i rozszerzania się ziaren, przyspiesza ich niszczenie (Campbell 1991; Campbell i Campbell 1994).

Ponadto kontakt z tlenem intensyfikuje bakteryjny i grzybowy rozkład sporopoleniny (Elsik 1971; Havinga 1971), a co za tym idzie utratę możliwości oznaczenia pyłku lub jego całkowitą degradację. W przypadku osadów, które podlegają działaniu tlenu (na skutek przesuszenia), zjawisko spadku koncentracji pyłku zachodzi odwrotnie do kierunku przyrostu warstw (im starsza warstwa, tym mniej pyłku). Przykładem może być stanowisko Orlynyy Klyuch (ryc. 4; Chlachula i in. 2015), gdzie w zasadzie tylko warstwy przypowierzchniowe nadawały się do analizy palinologicznej. Problem spadku jakości interpretacyjnej materiału pyłkowego wraz z głębokością osadu pojawił się również we wspomnianych wcześniej multidyscyplinarnych badaniach nad tumbą Nea Raedestos (Niebieszczański i in. 2019). Jednakże w tym przypadku udało się zidentyfikować fazy ze zwiększoną liczebnością grzybów koprofilnych, mogących sugerować większą aktywność pasterską. Stanowisko Nea Raedestos jest również przykładem badań z rekonstrukcją palinologiczną o bardzo lokalnym zasięgu. Spektra pyłkowe zdominowane były przez taksony występujące wokół niewielkiego zbiornika wodnego, w którym następowała akumulacja. W obrazie pyłkowym dominowały taksony pochodzące od synantropijnych roślin zielnych, takich jak komosowate (Chenopodiaceae), astrowate – jęczminkowate (Cichoriaceae) i rdesty (*Polygonum aviculare* typ) (por. Behre 1981).

W badaniach na obu stanowiskach pojawił się też inny problem związany z jakością zachowania ziaren pyłku. Otóż w niektórych próbach wykryto współwystępowanie ziaren zniszczonych i bardzo dobrze zachowanych. Tłumaczenie tego zjawiska zanieczyszczeniem współczesnym pyłkiem wydaje się logiczne, choć istnieje też inne wyjaśnienie. Współwystępowanie ziaren o różnym stopniu skorodowania może być efektem redepozycji osadu. Pyłek od samego początku akumulowany w środowisku wodnym zachowa się dobrze, natomiast ten redeponowany, z przesuszającej się cyklicznie gleby w otoczeniu takiego stanowiska, będzie nosił już ślady korozji. Stąd ważnym elementem dla późniejszej interpretacji wyników analizy pyłkowej ze stanowisk archeologicznych jest szczegółowy opis osadów, jak również maksymalne ograniczenie ekspozycji prób przeznaczonych do analiz na warunki zewnętrzne. Należy również notować w trakcie analizy mikroskopowej informację o stanie zachowania ziaren pyłku.



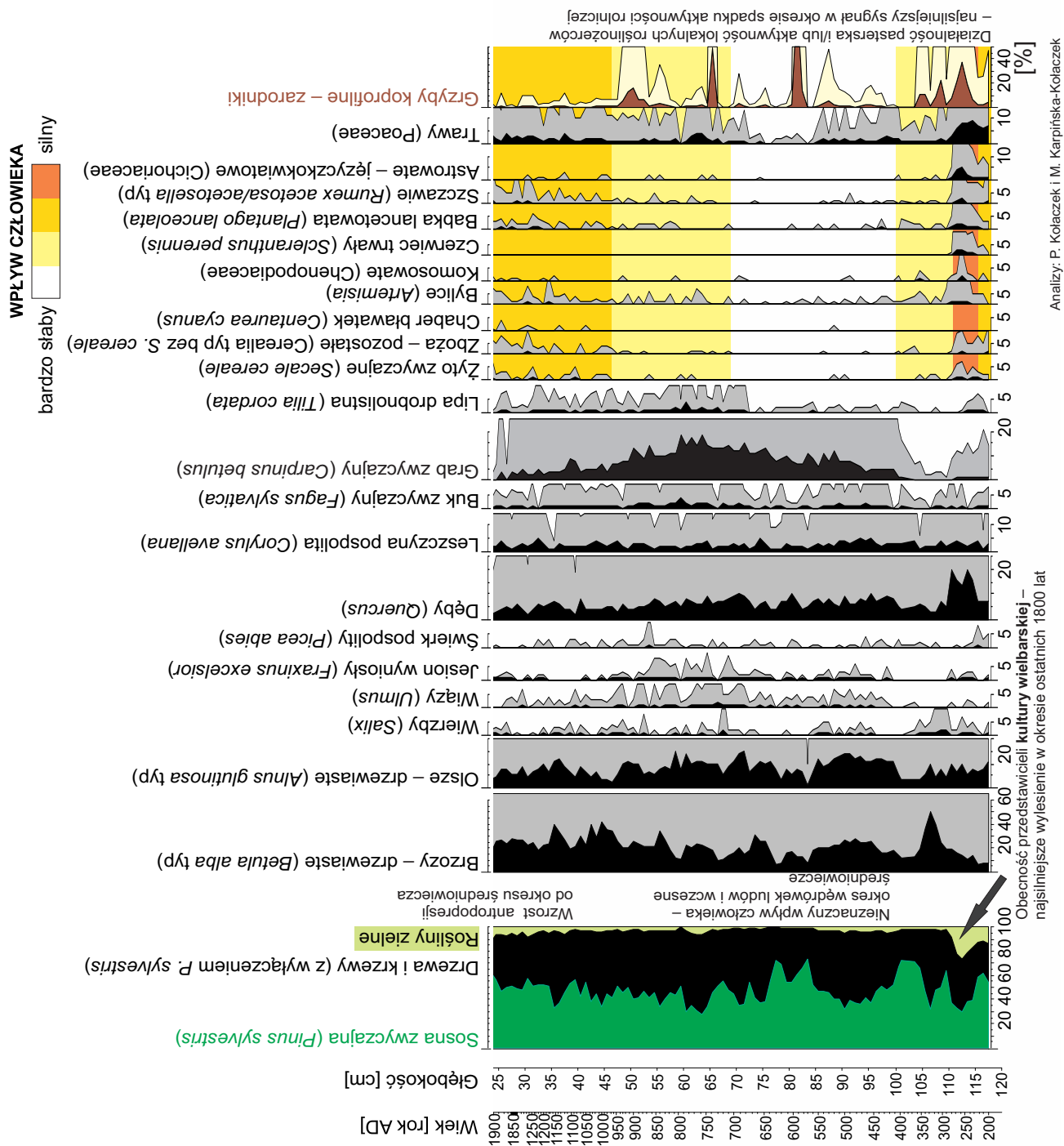
KIEDY BADANIA PALINOLOGICZNE OTWIERAJĄ DRZWI ARCHEOLOGOM I HISTORYKOM?

Jednym z częstych problemów, jakie pojawiają się podczas interpretacji analiz palinologicznych, jest niedobór danych archeologicznych, ich duże rozproszenie w literaturze oraz problemy z ich dostępnością (np. Karpińska-Kołaczek i in. 2014; Lamentowicz i in. 2019). W takich przypadkach trudno jest oszacować potencjalny wpływ człowieka na szatę roślinną, zwłaszcza kiedy próbujemy jednocześnie określić wpływ klimatu na ekosystemy w przeszłości. Wtedy kluczowe staje się ustalenie powodu nasilenia jakiegoś zjawiska. Przykładowo, czy przyczyną spłukiwania osadów ze zlewni do jeziora było antropogeniczne wylesienie, nasilenie opadów czy oba te czynniki? Są też sytuacje, kiedy analiza palinologiczna wyraźnie pokazuje wpływ człowieka na środowisko związany z potencjalnie zaawansowanym osadnictwem na danym obszarze, a obszar ten nigdy nie był szczegółowo eksplorowany pod kątem archeologicznym. Do takich stanowisk można zaliczyć torfowisko Głęboćek znajdujące się w Borach Tucholskich (Lamentowicz in., 2019), w którego spektrach palinologicznych zarejestrowano bardzo silne wylesienia przypisane do okresu osadnictwa kultury wielbarskiej (epoka żelaza; ok. 50-450 n.e.). Co ważne, sygnał ten nie był efektem jedynie lokalnych zmian na torfowisku, ale został również potwierdzony przez szczegółową analizę palinologiczną przyległego jeziora (Jezioro Głęboćek, Obremska i in. 2017). W obu przypadkach zarejestrowane w materiale pyłkowym wylesienie wydawało się najsilniejsze w skali ostatnich 2000 lat, jednak najbliższe znaleziska archeologiczne kultury wielbarskiej znajdowane były 7-10 km od torfowiska (Lamentowicz i in. 2019, za: Szymańska 1974). W przypadku Jeziora Czarnego leżącego na Pojezierzu Mazurskim ślady palinologiczne wskazywały na możliwość intensywniejszej działalności człowieka już od okresu wczesnego brązu (około 1300 lat p.n.e.; Karpińska-Kołaczek i in. 2014). Jednakże w bliskim otoczeniu stanowiska brak było szczegółowych badań archeologicznych. Podobnie było podczas badań nad młodszymi materiałami. W pracy z torfowiska Pawski Ług, leżącego w pobliżu Łagowa (zachodnia Polska), uwagę zwraca dysproporcja w dostępności źródeł historycznych i archeologicznych. Dostępne są dość bogate źródła

historyczne dotyczące eksploatacji środowiska przez miejscową ludność w okresie od osiedlenia się tam joannitów. Niewiele jednak wiadomo na temat okresu panowania na tym obszarze słowiańskiego plemienia Lubuszan i okresu wczesnego państwa polskiego (Lamentowicz i in. 2020). Badania palinologiczne, w połączeniu z analizą różnych frakcji pyłu węglowego, wskazały na częstsze wykorzystanie ognia w pozyskiwaniu terenów pod uprawy, czy też w eksploatacji ówczesnych lasów (np. wypalanie węgla drzewnego, wypalanie lasu) w okresie przed joannitami. Jednak uściślenie informacji związanych z działalnością człowieka przed nastaniem władzy joannitów na tamtym obszarze to już zadanie dla archeologów i historyków.

Kolejnym przykładem są badania nad historią roślinności i zmianami poziomu wody w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej w czasie ostatnich 2000 lat (Kołaczek i in. 2010; 2018b). W tych badaniach, choć wątek wpływu człowieka stanowił poboczny temat, udało się przedstawić palinologiczne dowody na prawdopodobną obecność poletek uprawnych na obszarach aluwialnych Dunajca, jeszcze przed średniowieczną kolonizacją tych obszarów. Dotychczasowe źródła historyczne wskazywały, że obszar Kotliny Orawsko-Nowotarskiej był pokryty gęstymi lasami z systemem bagien i torfowisk, które nie były zamieszkiwane do XII w. n.e. Obszary te miały być naturalną „zieloną barierą” przed najazdami z południa (Łajczak 2006), choć niektórzy badacze już wcześniej sugerowali okresowe wykorzystanie lokalnych żyznych aluwii pod pola uprawne (Dobrowolski 1970).

Przykładem ścisłej współpracy palinologów z historykami są badania na torfowisku Kazanie koło Pobiedzisk pod Poznaniem obejmujące okres ostatnich 1200 lat (Czerwiński i in. 2019; 2021). Jest to pierwsze tak wysokorozdzielcze studium zmian szaty roślinnej dla tej części Wielkopolski. Profil z tego torfowiska został przeanalizowany w ciągłym opróbowaniu (bez przerw) oraz bardzo dokładnie wydатовany (jedna data radiowęglowa na każde 10 cm profilu), co jest nowym aspektem w badaniach paleoekologicznych Wielkopolski. Jako że stanowisko Kazanie zlokalizowane jest pomiędzy Poznaniem a Gnieznem, zarejestrowało ono zmiany środowiska związane z dynamicznym rozwojem państwa polskiego w połowie X w. n.e. (Czerwiński i in. 2021). Wiele źródeł historycznych podaje, że takie przedsięwzięcie jak budowa grodów doprowadziło do całkowitej/



Ryc. 5. Diagram palinologiczny ze stanowiska Głęboczek (na podstawie Lamentowicz i in. 2019 oraz niepublikowanych materiałów P. Kołaczka). Wykonany w programie TILIA

znaczącej wycinki dębów w otoczeniu stanowisk, a nawet do całkowitej deforestacji na obszarze między Poznaniem a Ostrowem Lednickim (Dzieduszycki 1976; Krąpiec 1998; Kurnatowska 2011; Trzeciecki 2016). Jednak badania Czerwińskiego i in. (2019; 2021) pokazują, że dęby w pobliżu torfowiska Kazanie nie tylko były liczne (>10% udziałów pyłkowych), ale również nie doszło do żadnych istotnych zmian w ich udziale w lasach między IX a XI w. n.e. Tym samym na pewno nie wszystkie dęby zostały wycięte. Pokazuje to, że nawet utarte poglądy, choć wydają się słuszne z archeologicznego i historycznego punktu widzenia, powinny być co jakiś czas weryfikowane przez badania paleośrodowiskowe, w tym palinologiczne. Dodatkowo analiza palinologiczna może dostarczać też istotnych informacji o potencjalnych miejscach do badań archeologicznych, czyniąc tę analizę wartościowym narzędziem w pracy archeologów i historyków.

PODSUMOWANIE

Analizy palinologiczne dostarczają istotnych informacji dotyczących warunków przyrodniczych, w jakich funkcjonowały grupy ludzkie w przeszłości. Dostarczają też danych o zasobach leśnych, a wraz z analizą mikroskopijnych węgli mogą umożliwić odtworzenie sposobów używania ognia w pozyskiwaniu terenów do polowań czy upraw. Pozwala to w mniej lub bardziej dokładny sposób zrekonstruować strukturę roślinności lasów i terenów otwartych. Dzięki grzybom koprofilnym można uzyskać informacje o zmianach w presji pasterskiej na środowisko. Ponadto widoczne w obrazie palinologicznym glony mogą wskazywać na wahania poziomu wody na torfowiskach i w jeziorach, a przez to pośrednio dawać informację na temat warunków klimatycznych i hydrologicznych, w jakich funkcjonowali kiedyś ludzie. Jednakże, aby wyniki analiz palinologicznych mogły „służyć” badaniom archeologicznym, wiele istotnych warunków musi zostać spełnionych. Przede wszystkim należy pamiętać, że materiał do analiz palinologicznych powinien zostać pobrany z osadów lub torfu, które dają możliwość jak najlepszego zachowania pyłku. Ważne jest, z jakim typem archiwum paleoekologicznego mamy do czynienia – czy jest to duże jezioro rejestrujące regionalne zmiany (promień kilku lub kilkunastu kilometrów), czy analizujemy próbę z warstwy

kulturowej, która będzie miała bardzo lokalny zapis (informacja w promieniu kilku lub kilkunastu metrów). Jeżeli dane palinologiczne pochodzą ze zbiornika spoza stanowiska archeologicznego, wówczas jego wielkość czy szacowana pierwotna wielkość i oddalenie od stanowiska archeologicznego mogą wskazać, czy zasadne jest zestawienie tych dwóch zapisów. A jeżeli mamy pewność, że dane palinologiczne można zestawić z danymi archeologicznymi, należy wówczas wykonać szereg datowań radiowęglowych osadów, które pozwolą skorelować oba typy danych ze sobą. Ponadto stopień zachowania materiału pyłkowego nie zawsze jest sprzymierzeńcem we współpracy palinologów i archeologów, gdyż potrafi doprowadzić do mylnych interpretacji danych dotyczących roślinności w przeszłości. Podobnie jest w przypadku materiału zanieczyszczonego, dlatego zawsze należy pamiętać, aby materiał przeznaczony do analiz palinologicznych chronić przed warunkami zewnętrznymi. Jednak aby analizy palinologiczne mogły jak najlepiej wesprzeć badania archeologiczne, ważne jest równoległe wykonanie innych analiz paleoekologicznych, co pozwoli na weryfikację wyników i ograniczy błędy interpretacyjne.

LITERATURA

- Andersen, S.T. 1988. Pollen spectra from the double passage-grave, Klekkendehøj, on Mon. Evidence of swidden cultivation in the Neolithic of Denmark. *Journal of Danish Archaeology* 7: 77–92.
- Behre, K. 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores* 23: 225–245.
- Beug, H. 2004. *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Munich.
- Birks, H.J.B. 2019. Contributions of Quaternary botany to modern ecology and biogeography. *Plant Ecology and Diversity* 12: 189–385.
- Birks, H.J.B., Birks, H.H. 1980. *Quaternary Palaeoecology*. London.
- Brown, A.D., Pluskowski, A. 2011. Detecting the environmental impact of the Baltic Crusades on a late-medieval (13th–15th century) frontier landscape: Palynological analysis from Malbork Castle and hinterland, Northern Poland. *Journal of Archaeological Science* 38(8): 1957–1966.
- Campbell, I. 1991. Experimental mechanical destruction of pollen grains. *Palynology* 15: 29–33.
- Campbell, I., Campbell, C. 1994. Pollen preservation: experimental wet/dry cycles in saline and desalinated sediments. *Palynology* 18: 5–10.

- Casparie, E.A., Groenman-van Waateringe, W. 1980. Palynological analysis of Dutch barrows. *Palaeohistoria* 22: 1-65.
- Chlachula, J., Lynsha, V.A., Kołaczek, P., Tarasenko, V.N. 2015. Neolithic and Aeneolithic Environments in the Central Primor'ye Region (the Bol'shaya Ussurka Valley), the Russian Far East. *Quaternary International* 370: 127-144.
- Czerwiński, S., Guzowski, P., Karpińska-Kołaczek, M., Lamentowicz, M., Gałka, M., Kołaczek, P., Izdebski, A., Ponią, P. 2019. Znaczenie wspólnych badań historycznych i paleoekologicznych nad wpływem człowieka na środowisko. Przykład ze stanowiska Kazanie we wschodniej Wielkopolsce. *Studia Geohistorica* 7: 56-74.
- Czerwiński, S., Guzowski, P., Lamentowicz, M., Gałka, M., Karpińska-Kołaczek, M., Ponią, R., Łokas, E., Diaconu, A.-C., Schwarzer, J., Miecznik, M., Kołaczek, P. 2021. Environmental implications of past socio-economic events in Greater Poland during the last 1200 years. Synthesis of paleoecological and historical data. *Quaternary Science Reviews* 259: numer artykułu 106902
- Davies, A.L. 2019. Dung fungi as an indicator of large herbivore dynamics in peatlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 271: numer artykułu 104108.
- Dietre, B., Reitmaier, T., Walser, C., Warnk, T., Unkel, I., Hajdas, I., Lambers, K., Reidl, D., Haas, J.N. 2020. Steady transformation of primeval forest into subalpine pasture during the Late Neolithic to Early Bronze Age (2300-1700 BC) in the Silvretta Alps, Switzerland. *Holocene* 30: 355-368.
- Dobrowolski, K. 1970. Najstarsze osadnictwo Podhala, (w:) W. Antoniewicz, K. Dobrowolski, W.H. Paryski (red.), *Studia Podhalańskie i bibliografii a pasterstwa Tatr i Podhala*. Wrocław-Warszawa-Kraków, 23-88.
- Dyakowska, J. 1937. Researches on the rapidity of the falling down of pollen of some trees. *Extrait du Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences et des Lettres Series B*, 1: 155-168.
- Dzieduszycki, W. 1976. Wykorzystywanie surowca drzewnego we wczesnośredniowiecznej i średniowiecznej Kruszwicy. *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 24(1): 35-54.
- Elsik, W.C. 1971. Microbial degradation of sporopollenin, (w:) J. Brooks, P.R. Grant, M. Muir, P. van Gijzel, G. Shaw (red.), *Sporopollenin*. New York, 480-511.
- Erdtman, G. 1960. The acetolysis method. *Svenska Botanische Tidsskrift*, 54: 561-564.
- Faegri, K., Kaland, P.E., Krzywiński, K. 1989. *Textbook of pollen analysis. IV ed.* Chichester-Singapore.
- Feeser, I., O'Connell, M. 2010. Late Holocene land-use and vegetation dynamics in an upland karst region based on pollen and coprophilous fungal spore analyses: An example from the Burren, western Ireland. *Vegetation History and Archaeobotany* 19(5): 409-426.
- Florenzano, A. 2019. The history of pastoral activities in S Italy inferred from palynology: A long-term perspective to support biodiversity awareness. *Sustainability (Switzerland)* 11(2): numer artykułu 404.
- Grimm, E.C. 1992. TILIA/TILIA Graph, Version 1.2. Springfield, Illinois.
- Harmata, K., Machnik, J., Starkel, L. 2006. Transformation of natural environment by human activities, (w:) K. Harmata, J. Machnik, L. Starkel (red.), *Environment and man at the Carpathian Foreland in the Upper Dniester catchment from Neolithic to Early Mediaeval Period*. Prace Komisji Prehistorii Karpat, Tom III. Kraków, 245-251.
- Havinga, A.J., 1971. An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types, (w:) J. Brooks, P.R. Grant, M.D. Muir, P. van Gijzel, G. Shaw (red.), *Sporopollenin*. London, 446-478.
- Jacobson, G.L.Jr, Bradshaw, R.J. 1981. The selection of sites for palaeovegetational studies. *Quaternary Research* 16(1): 80-96.
- Karpińska-Kołaczek, M., Kołaczek, P., Stachowicz-Rybka, R. 2014. Pathways of woodland succession under low human impact during the last 13,000 years in northeastern Poland. *Quaternary International* 328-329(1): 196-212.
- Kittel, P., Sikora, J., Antczak, O., Brooks, S.J., Elias, S., Krąpiec, M., Luoto, T.P., Borówka, R.K., Okupny, D., Pawłowski, D., Płóciennik, M., Rządziejewicz, M., Stachowicz-Rybka, R., Wacnik, A. 2018. The palaeoecological development of the Late Medieval moat - Multiproxy research at Rozprza, Central Poland. *Quaternary International* 482: 131-136.
- Kołaczek, P. 2007. Late Glacial and Holocene vegetation changes in the western part of Rzeszów foothills (Sandomierz basin) based on the pollen diagram from Krasne near Rzeszów. *Acta Palaeobotanica* 47(2): 455-467.
- Kołaczek, P. 2010. The development of late glacial and holocene vegetation and human impact near Grodzisko Nowe in the Lower San Valley (Sandomierz Basin, south-eastern Poland). *Acta Palaeobotanica* 50(2): 101-117.
- Kołaczek, P. 2011. 12 millennia of climatic and human induced vegetation changes in the Lower San Valley near Jarosław (SE Poland) in the light of pollen analysis. *Studia Quaternaria* 28: 25-39.
- Kołaczek, P., Fiałkiewicz-Kozieł B., Karpińska-Kołaczek, M., Gałka, M., 2010. The last two millennia of vegetation development and human activity in the Orawa-Nowy Targ Basin (south-eastern Poland). *Acta Palaeobotanica* 50(2): 133-148.
- Kołaczek, P., Karpińska-Kołaczek, M., Madeja, J., Kalinowych, N., Szczepanek, K., Gębica, P., Harmata, K. 2016. Interplay of climate-humane-vegetation on the north-eastern edge of the Carpathians (Western Ukraine) between 7500 and 3500 calibrated years BP. *Biological Journal of Linnean Society* 119(3): 609-629.
- Kołaczek, P., Gałka, M., Apolinarska, K., Płóciennik, M., Gąsiorowski, M., Brooks, S.J., Hutchinson, S.M.,

- Karpińska-Kołaczek, M. 2018a. A multi-proxy view of exceptionally early postglacial development of riparian woodlands with *Ulmus* in the Dniester River valley, western Ukraine. *Review of Palaeobotany and Palynology* 250: 27–43.
- Kołaczek, P., Karpińska-Kołaczek, M., Marcisz, K., Gałka, M., Lamentowicz, M. 2018b. Palaeohydrology and the human impact on one of the largest raised bogs complex in the Western Carpathians (Central Europe) during the last two millennia. *Holocene* 28(4): 595–608.
- Kołaczek, P., Margielewski, W., Gałka, M., Karpińska-Kołaczek, M., Buczek, K., Lamentowicz, M., Borek, A., Zernitskaya, V., Marcisz, K. 2020. Towards the understanding the impact of fire on the lower montane forest in the Polish Western Carpathians during the Holocene. *Quaternary Science Reviews* 229: numer artykułu 106137.
- Krąpiec, M. 1998. Oak dendrochronology of the Neoholocene in Poland. *Folia Quaternaria* 69: 5–133.
- Kurnatowska, Z. 2011. Grzybowo pod Wrześnią – potężny gród wczesnopiastowski. *Landform Analysis* 16: 56–58.
- Lamentowicz, M., Marcisz, K., Guzowski, P., Gałka, M., Diaconu, A.-C., Kołaczek, P. 2020. How Joannites' economy eradicated primeval forest and created anthroecosystems in medieval Central Europe. *Scientific Reports* 10(1): numer artykułu 18775.
- Lamentowicz, M., Kołaczek, P., Mauquoy, D., Kittel, P., Łokas, E., Słowiński, M., Jassey, V., Niedziółka, K., Jakubał-Drygalska, K., Marcisz, K. 2019. Always on the tipping point – A search for signals of past societies and related peatland ecosystem critical transitions during the last 6500 years in N Poland. *Quaternary Science Reviews*, numer artykułu 22521.
- Latałowa, M. 1999. Palaeoecological reconstruction of environmental conditions and economy in early medieval Wolin against a background of the Holocene history of the landscape. *Acta Palaeobotanica* 39(2): 183–271.
- Latałowa, M. 2003. Badania palinologiczne na stanowiskach archeologicznych, (w:) S. Dybowa-Jachowicz, A. Sadowska (red.), *Palinologia*. Kraków, 308–312.
- Lundqvist, N., 1972. Nordic Sordariaceae s. lat. *Symbolae botanicae Upsalienses* 20(1): 1–374.
- Łajczak, A., 2006. *Torfowiska Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Rozwój, antropogeniczna degradacja, renaturyzacja i wybrane problemy ochrony*. Kraków.
- Madeja, J., Wacnik, A., Zyga, A., Stankiewicz, E., Wypasek, E., Guminski, W., Harmata, K. 2009. Bacterial ancient DNA as an indicator of human presence in the past: Its correlation with palynological and archaeological data. *Journal of Quaternary Science* 24(4): 317–321.
- Makohonienko, M., Wrzesińska, A., Wrzesiński, J. 1998. Analiza palinologiczna wypełniska jam grobowych. *Studia Lednickie* 5: 95–102.
- Margielewski, W., Kołaczek, P., Michczyński, A., Obidowicz, A., Pazdur, A. 2011. Record of the meso- and neoholocene palaeoenvironmental changes in the Jesionowa landslide peat bog (Beskid Sądecki Mts. Polish Outer Carpathians). *Geochronometria* 38(2): 138–154.
- Milecka, K., Kowalewski, G., Fiałkiewicz-Kozieł, B., Gałka, M., Lamentowicz, M., Chojnicki, B.H., Goslar, T., Barabach, J. 2017. Hydrological changes in the Rzecin peatland (Puszcza Notecka, Poland) induced by anthropogenic factors: Implications for mire development and carbon sequestration. *Holocene* 27: 651–664.
- Miola, A. 2012. Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: a list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972–2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186: 142–161.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1991. *Pollen Analysis*. London.
- Nalepka, D., Walanus, A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica* 43: 125–134.
- Niebieszczański, J., Hildebrandt-Radke, I., Vouvalidis, K., Syrides, G., Andreou, S., Czebreszuk, J., Pappa, M., Tsourlos, P., Karpińska-Kołaczek, M., Rzedkiewicz, M., Kołaczek, P. 2019. Geoarchaeological evidence of landscape transformations at the Neolithic and Bronze Age settlement of Nea Raedestos in the Anthemous River valley, central Macedonia, Greece. *Quaternary Research* 91(2): 584–599.
- Obremska, M., Ott, F., Słowiński, M., Błaszkiwicz, M., Brauer, A. 2017. From the Bronze Age to the Migration Period – human activity recorded in the lake sediments of Lake Czechowskie, (Northern Poland), (w:) M.J. Schwab, M. Błaszkiwicz, T. Raab, M. Wilmking, A. Brauer (red.), *Human Impact and Landscape Evolution in Southern Baltic Lowlands. ICLEA Final Symposium 2017. 7 - 9 June 2017, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany. Abstract Volume and Excursion Guide, Scientific Technical Report, 17/03*. Potsdam, 130–131.
- Page, K. 2004. Palaeochannel, (w:) A.S. Goudie (red.), *Encyclopedia of geomorphology*. London - New York, 743–746.
- Poska, A., Saarse, L., Veski, S. 2004. Reflections of pre- and early-agrarian human impact in the pollen diagrams of Estonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 209: 37–50.
- Sadowska, A., Chłopek, K. 2003. Historia badań, (w:) S. Dybowa-Jachowicz, A. Sadowska (red.), *Palinologia*. Kraków, 10–15.
- Shumilovskikh, L., van Geel, B. 2020. Non-Pollen Palynomorphs, (w:) A.G. Henry (red.), *Handbook for the Analysis of Micro-Particles in Archaeological Samples*. Cham, 65–94.
- Stivrins, N., Brown, A., Reitalu, T., Veski, S., Heinsalu, A., Banerjee, R.Y., Elmi, K. 2015. Landscape change in central Latvia since the Iron Age: multi-proxy analysis of the vegetation impact of conflict, colonization and economic expansion during the last 2,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 24(3): 377–391.

- Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13: 615–621.
- Szymańska, A. 1974. Nowe odkrycia na Pomorzu Gdańskim w latach 1969-1970. *Pomorania Antiqua* 5: 475–503.
- Święta-Musznicka, J., Latałowa, M., Badura, M., Gołębniak, A. 2013. Combined pollen and macrofossil data as a source for reconstructing mosaic patterns of the early medieval urban habitats – a case study from Gdańsk. N Poland. *Journal of Archaeological Sciences* 40: 637–648.
- Święta-Musznicka, J., Badura, M., Pędziszewska, A., Latałowa, M. 2021. Environmental changes and plant use during the 5th-14th centuries in medieval Gdańsk, northern Poland. *Vegetation History and Archaeobotany* 30: 363–381.
- Tobolski, K. 2000. *Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych*. Warszawa.
- Troels-Smith, J. 1959. *The Mudbjerg dwelling place: an early neolithic archaeological site in the Aamosen bog, West-Zeeland, Denmark*. Washington D.C.
- Trzeciecki, M. 2016. The emergence of the territorial state, (w:) P. Urbańczyk, M. Trzeciecki, (red.), *The Past Societies. Polish lands from the first evidence of human presence to the Early Middle Ages*. Warszawa, 277–341.
- van Asperen, E.N., Kirby, J.R., Shaw, H.E. 2020. Relating dung fungal spore influx rates to animal density in a temperate environment: Implications for palaeoecological studies. *Holocene* 30(2): 218–232.
- van Geel B., 1978. A palaeoecological study of holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25: 1–120.
- van Geel, B., Aptroot, A., 2006. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82(3): 313–329.
- Wasylikowa, K., Starkel, L., Niedziałkowska, E., Siba, S., Stworzewicz E. 1985. Environmental changes in the Vistula valley at Pleszów caused by Neolithic man. *Przegląd Archeologiczny* 33: 19–55.
- Waterbolk, H.T 1956. Pollen spectra from Neolithic grave monuments in the northern Netherlands. *Palaeohistoria* 5: 39–51.
- Whitlock, C., Larsen, C. 2001. Charcoal as a fire proxy, (w:) J.P. Smol, H.J.B. Birks, W.M. Last (red.), *Tracking environmental change using lake sediments, Volume 3: Terrestrial, algal, and siliceous indicators*. Dordrecht, 75–97.
- Więckowski, K. 1961. Improved vertical core sampler for collecting the bottom sediments monoliths. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série des sciences géologiques et géographiques* 9(2): 129–133.
- Wohlfarth, B., Skog, G., Possnert, G., Holmquist, B. 1998. Pitfalls in the AMS radiocarbon dating of terrestrial macrofossils. *Journal of Quaternary Science* 13(2): 137–145.

