

Zastosowanie współczesnych wartości depozycji pyłku do weryfikacji obecności *Fagus sylvatica* w dawnych zbiorowiskach leśnych w rejonie Puszczy Boreckiej (NE Polska)

AGNIESZKA WACNIK, AGNIESZKA M. NORYŚKIEWICZ i WOJCIECH TYLMANN

WACNIK, A., NORYŚKIEWICZ, A. M. AND TYLMANN, W. 2017. Use of modern pollen accumulation rates for verification of *Fagus sylvatica* in Late Holocene forests. Case study from the Puszcza Borecka Forest (NE Poland). *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* 24(2): 451–468. Kraków. e-ISSN 2449-8890, ISSN 1640-629X.

ABSTRACT: The presence or absence of beech during the Late Holocene in the Great Masurian Lake District area is a problem of postglacial vegetation history repeatedly discussed and not fully resolved so far. A high-resolution pollen dataset from annually laminated sediments of Lake Żabińskie (NE Poland) as well as data from modern pollen monitoring in N Poland were used to calculate *Fagus* pollen accumulation rates. We used 160 pollen grains $\text{cm}^{-2} \text{year}^{-1}$ as the *Fagus* PAR value indicating the limit for the local presence of trees, based on medium counts from the results of 19 years of research from Brodnica Landscape Park documenting the growth of single pollinating beech trees located 400–1700 m from the pollen traps. The combined modern and subfossil PAR values were used to verify the possible presence of dispersed *Fagus sylvatica* stands beyond their present tree limit during the last millennium. According to the results, beech was not a constant component of local forests but most probably was present close to the Puszcza Borecka Forest area at least during ca. AD 1030–1460, when the climate may have been more favorable, and possibly also between ca. AD 1780 and AD 1850. In these two periods the *Fagus* PAR value of ≥ 160 pollen grains $\text{cm}^{-2} \text{year}^{-1}$ corresponds to 0.3–1.3% shares in the subfossil pollen sequence.

KEY WORDS: *Fagus sylvatica*, Lake Żabińskie, laminated lake sediments, last millennium, pollen accumulation rates, pollen monitoring, vegetation history

A. Wacnik (autor korespondencyjny), Instytut Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków, Polska; e-mail: a.wacnik@botany.pl

A. M. Noryśkiewicz, Instytut Archeologii Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Szosa Bydgoska 44/48, 87-100 Toruń, Polska; agnieszka.noryskiewicz@umk.pl

W. Tylmann, Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytet Gdański, ul. Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk, Polska; wojciech.tylmann@ug.edu.pl

WSTĘP

Ostatnie stulecia w historii środowiska przyrodniczego Krainy Wielkich Jezior Mazurskich, podobnie jak i innych obszarów Polski, były okresem radykalnych przekształceń szaty roślinnej, które doprowadziły do ukształtowania współczesnego krajobrazu kulturowego i roślinności rzeczywistej, zdominowanej przez zbiorowiska nieleśne. Najbardziejziej

czytelną zmianą charakteru roślinności w tym czasie było trwałe wykarczowanie dużych powierzchni pierwotnych lasów. Przebieg zmian paleośrodowiska został zarejestrowany przez archiwa naturalne, jakimi są najczęściej osady denne jezior i wypełnienia torfowisk. Rocznie laminowane osady jeziorne są najcenniejszym typem osadów do badań paleoekologicznych. W ich przypadku możliwe jest szczegółowe określenie chronologii kalendarzowej prób, a tym samym i zakresu czasowego zjawisk przyrodniczych, jakie zachodziły w przeszłości. Znajomość czasu depozycji osadu w analizowanych próbach jest konieczna do ilościowego odniesienia danych współczesnych, m.in. tych dotyczących wielkości rocznego opadu pyłku roślin, do analogicznych danych kopalnych.

Jezioro Żabińskie należy do nielicznych stanowisk, w których zachowała się regularna roczna laminacja osadów. Dotychczas w Polsce szczegółowym badaniom palinologicznym poddano m.in. osady laminowane z jezior: Gością (RALSKA-JASIEWICZOWA i in. 1998), Perespilno (GOSLAR i in. 1999), Szurpiły (KINDER i in. 2013; Kupryjanowicz *npbl.*), Suminko (PĘDZISZEWSKA i in. 2015), Łazduny (WACNIK i in. 2012), Jaczno (PORAJ-GÓRSKA i in. 2017) i Czechowskie (OBREMSKA i in. 2015).

Wykonanie analiz parametrów biologicznych, geochemicznych i fizycznych z wysoką, kilkuletnią rozdzielczością, może być podstawą wiarygodnych korelacji z wynikami uzyskanymi z analogicznych horyzontów czasowych na innych stanowiskach, a przez to do określenia zasięgu terytorialnego rejestrowanych zjawisk. Zarejestrowane w ten sposób zmiany paleośrodowiska można też odnieść do udokumentowanych archeologicznie i historycznie procesów gospodarczo-osadniczych oraz fluktuacji klimatycznych (np. LAMENTOWICZ i in. 2009; BÜNTGEN i in. 2011; PRZYBYLAK 2011; GAŁKA & APOLINARSKA 2014; WACNIK i in. 2016; HERNÁNDEZ-ALMEIDA i in. 2017). Efektem takich korelacji jest możliwość wskazania prawdopodobnych przyczyn obserwowanych zmian środowiskowych, zarówno bezpośrednich, np. wycięcie lasu, pożar, jak i pośrednich na przykład czynników wpływających na intensywność osadnictwa, rolnictwa, czy na formę użytkowania terenu (wojny, epidemie, okresy głodu, zmiany polityczne, nowe techniki agrarne, wprowadzenie do uprawy nowych gatunków roślin itd.). W badaniach paleoekologicznych dążymy do możliwie szczegółowych ilościowych rekonstrukcji dawnej szaty roślinnej. W ostatnich latach coraz częściej wykorzystuje się w tym celu modelowanie z użyciem programów takich jak REVEALS (Regional Estimates of VEgetation Abundance from Large Sites; SUGITA 2007a), LOVE (Local Vegetation Estimates; SUGITA 2007b), Landscape Reconstruction Algorithm (LRA; SUGITA 2007a, b; HULTBERG i in. 2015), czy REVEALSinR (THEUERKAUF i in. 2016), bazujących na współczesnych danych o wielkości produkcji i rozprzestrzeniania się pyłku. Polska jest jednym z krajów, w których od kilkunastu lat prowadzony jest monitoring współczesnego opadu pyłku (Pollen Monitoring Programme). Jednym z założeń wspomnianego programu jest stworzenie podstaw dla bardziej wiarygodnych ilościowych rekonstrukcji roślinności w czwartorzędzie. Obejmuje on obok rejestracji wielkości rocznego opadu pyłku roślin w pułapkach typu Taubera, z użyciem metody wolumetrycznej, również gromadzenie danych na temat składu roślinności rzeczywistej występującej w sąsiedztwie stanowisk, w określonych przedziałach odległości, zgodnie z ujednoliconymi wytycznymi programu (HICKS i in. 1996; www.pollentrapping.org).

Fagus sylvatica (buk zwyczajny), będący przedmiotem badań, jest gatunkiem oceanicznym, charakteryzującym się niską odpornością na późne przymrozki i susze. Na terenie mezoregionu Pojezierzy Wschodniobałtyckich współcześnie jest notowany na nielicznych stanowiskach (ZAJĄC & ZAJĄC 2001). Na ziemi chełmińskiej buk występuje głównie w lasach dębowo-grabowych (REJEWSKI 1971), ale lokalnie rozwijają się też płaty buczyny pomorskiej (NORYŚKIEWICZ 1996; REJEWSKI 1996). Na Pojezierzu Brodnickim buki również występują ale głównie w grądach (ZIELSKI 1978). Na Pojezierzu Mazurskim m.in. w rejonie Biskupca, Reszla i Szczytna obecne są drzewostany buczyny pomorskiej (DĄBROWSKI i in. 1999; MATUSZKIEWICZ & KOWALSKA 2017). Przez obszar Pojezierza Mazurskiego przebiega granica jego naturalnego występowania (BORATYŃSKA & BORATYŃSKI 1990). Zestawienie MATUSZKIEWICZA i KOWALSKIEJ (2017; rycina 2 tamże) pokazuje, że najbardziej wysunięte na wschód naturalne stanowiska buka występują (na pojedynczych kwadratach ATPOL; ZAJĄC & ZAJĄC 2001) w rejonie Węgorzewa, Kętrzyna i Mrągowa. Czynniki ograniczające rozmieszczenie buka w północno-wschodniej Polsce nie są do końca jasne, ale wskazuje się tu aspekty siedliskowe i klimatyczne, a niekiedy i antropogeniczne (np. BORATYŃSKA & BORATYŃSKI 1990; BRZEZIECKI 1995; TARASIUK 1999). Przebieg granicy jego zasięgu jest wyraźnie zbieżny z izolinia 3.6 wskaźnika kontynentalizmu (DEGÓRSKI 1984; NORYŚKIEWICZ 2013). W odniesieniu do obszaru Pojezierza Mazurskiego, ciągle nierozstrzygnięta pozostaje kwestia występowania lub nie, rozproszonych stanowisk buka poza zwartym zasięgiem w młodszym holocenie. Zdaniem niektórych badaczy, obecność pojedynczych buków poza granicą współczesnego zasięgu sugeruje, że obszar jego występowania w przeszłości mógł być większy (SUŁKOWSKA i in. 2012) lub też, że współcześnie następuje ekspansja gatunku na wschód (MATUSZKIEWICZ & KOWALSKA 2017).

Holocenijska historia buka, kierunki migracji i kształtowanie się jego współczesnego zasięgu, zarówno w Polsce, jak i w Europie, były wielokrotnie przedmiotem badań paleobotanicznych i filogenetycznych (np. LATAŁOWA i in. 2004; LATAŁOWA & VAN DER KNAPP 2006; MAGRI i in. 2006). Znaleźiska szczątków makroskopowych w postaci orzeszków i drewna (bez śladów obróbki), które wskazują na lokalne występowanie gatunku w lasach regionu, notowane są w Polsce, głównie na terenach gdzie buk licznie występuje w lasach. Znaleźiska poza północno-wschodnią granicą zasięgu są sporadyczne. Należą do nich pojedyncze fragmenty drewna buka ze stanowisk archeologicznych z Krainy Wielkich Jezior Mazurskich (GUMIŃSKI & MICHNIEWICZ 2003; KARCZEWSKI 2011; GACKOWSKI 2014; WACNIK i in. 2014), które ze względu na związek znaleźisk z aktywnością człowieka, nie są jednak wiarygodnym świadectwem lokalnego pochodzenia surowca. Inaczej jest w przypadku ziaren pyłku buka, które pomimo niskiej produkcji i słabej dyspersji są łatwo oznaczalne i dobrze zachowują się w stanie kopalnym, dlatego też są regularnie notowane w sekwencjach pyłkowych niemal z całego obszaru północno-wschodniej Polski (w tym też z terenu Krainy Wielkich Jezior Mazurskich; LATAŁOWA i in. 2004; WACNIK i in. 2012, 2016; SZAL i in. 2014).

Na Pojezierzu Brodnickim, leżącym na granicy współczesnego zasięgu buka, frekwencja pyłku w późnym holocenie wynosi ok. 2% (jeziro Strażym; NORYŚKIEWICZ 1987; torfowisko Retno; NORYŚKIEWICZ 2012). Dane palinologiczne z Pojezierza Brodnickiego i Borów Tucholskich sugerują, że nawet wartość procentowa pyłku ok. 0,1–0,6% może świadczyć

o jego lokalnej obecności (NORYŚKIEWICZ 2013). Dla porównania, na mapach izopolowych wykreślonych dla 1000 AD i 1500 AD udział pyłku buka na terenie Krainy Wielkich Jezior Mazurskich osiąga 1–2%. Jest to wartość przyjmowana powszechnie za wskaźnik progowy lokalnego występowania drzew (MAGRI i in. 2006; LISITSYNA i in. 2011). Natomiast ok. 500 AD, na stanowiskach zlokalizowanych na zachód i południe od linii wielkich jezior, stwierdzono udział pyłku sięgający 3% (LATAŁOWA i in. 2004). Interpretacja regularnej obecności niskich wartości procentowych pyłku buka w diagramach (np. RALSKA-JASIEWICZOWA 1966; WACNIK i in. 2012; MADEJA 2013; SZAL i in. 2014) jest przedmiotem dyskusji.

Niniejsza praca koncentruje się na wybranym aspekcie holocenijskiej historii lasów Krainy Wielkich Jezior Mazurskich. Przesłanką do wyboru *Fagus sylvatica* jako przedmiotu badań były wątpliwości co do jego obecności w lasach regionu w holocenie.

Celem podstawowym pracy jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy *F. sylvatica* rósł w rejonie Puszczy Boreckiej w ostatnim tysiącleciu, poprzez zastosowanie metody korelacji kopalnych i współczesnych wartości rocznej depozycji pyłku (*pollen accumulation rate*, PAR) oraz procentowych danych palinologicznych.

Cele szczegółowe pracy to: (1) określenie wielkości PAR *Fagus sylvatica* w kopalnych spektrach pyłkowych z rocznie laminowanych osadów Jeziora Żabińskiego, (2) porównanie kopalnych i współczesnych wartości PAR *Fagus sylvatica* pochodzących z monitoringu pyłku do zweryfikowania obecności buka w dawnych lasach, (3) określenie wartości progowych pyłku buka, świadczących o jego lokalnej obecności w rejonie Jeziora Żabińskiego.

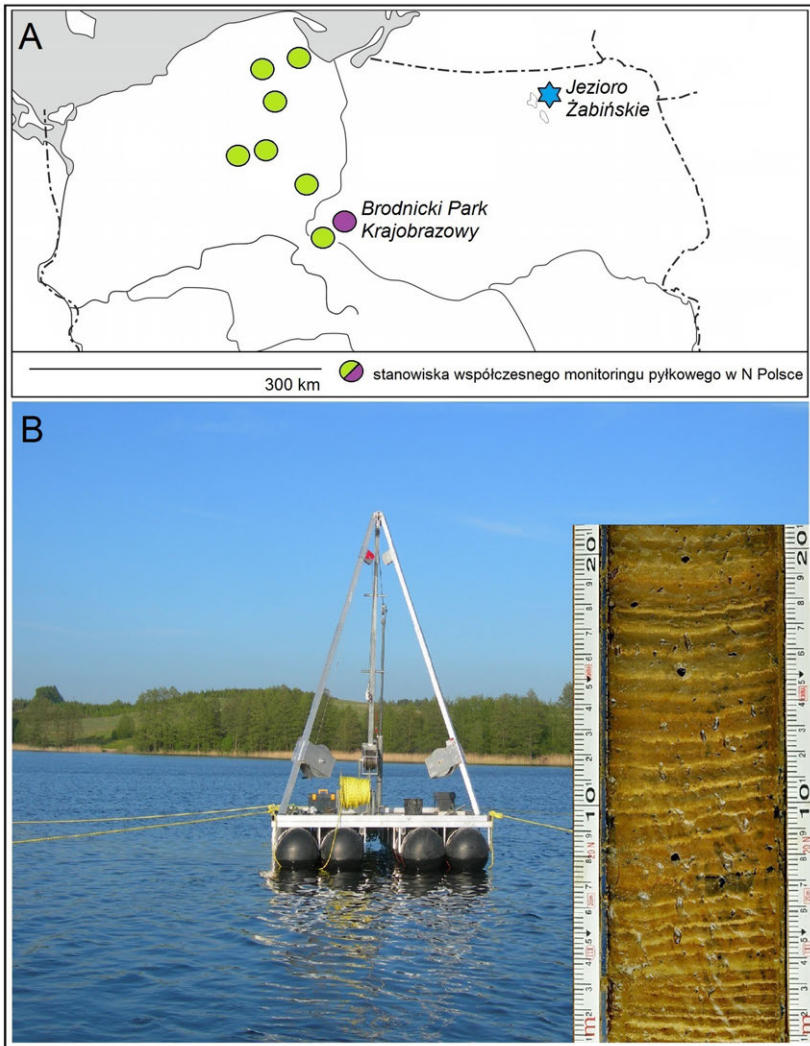
MATERIAŁ I METODY

Współczesny opad pyłku – Pojezierze Brodnickie

Odniesieniem dla młodoholocenijskich danych z Jeziora Żabińskiego są wartości PAR *Fagus* pochodzące ze współczesnego monitoringu, prowadzonego na terenie Brodnickiego Parku Krajobrazowego w północnej Polsce (Ryc. 1). Jest to najbliższy zlokalizowany teren objęty współczesnym monitoringiem pyłkowym w stosunku do Jeziora Żabińskiego i równocześnie położony poza zwartym zasięgiem buka.

Dane o składzie taksonomicznym i ilościowym deszczu pyłkowego pochodzą z pułapek typu Taubera rozmieszczonych w trzech punktach B1, B2 i B3 w rejonie Brodnickiego Parku Krajobrazowego, gromadzonych w latach 1998–2005 przez B. Noryśkiewicz, a następnie do 2016 r. przez A. M. Noryśkiewicz (Ryc. 2). Pułapki zbierające opad, zgodnie z założeniem programu rocznego monitoringu pyłkowego (HICKS i in. 1996; www.pollentrapping.org), ustawiono w trzech lokalizacjach – w terenie zalesionym B1, na skraju lasu B2 oraz w terenie otwartym B3. Pułapki ustawione zostały: B1 w Nadleśnictwie Tęgowiec (53°21,253'N 19°27,156'E), które otaczają gospodarcze mieszane lasy liściaste z sztucznie wprowadzoną sosną; B2 w ogródku meteorologicznym zlokalizowanym na terenie siedziby Brodnickiego Parku Krajobrazowego w Grzmięcej (53°20,239'N; 19°25,529'E), a B3 w gospodarstwie ekologicznym A. i M. Babalskich w Pokrzydowie (53°19,411'N; 19°28,436'E).

Materiał zgromadzony w pułapce pyłkowej zlewano raz do roku w październiku i poddawano standardowej dla analizy pyłkowej preparatyce laboratoryjnej (BERGLUND & RALSKA-JASIEWICZOWA 1986). Na początku maceracji do każdej próby dodawana była znana liczba zarodników *Lycopodium* (STOCKMARR 1971) w celu obliczenia koncentracji pyłku.

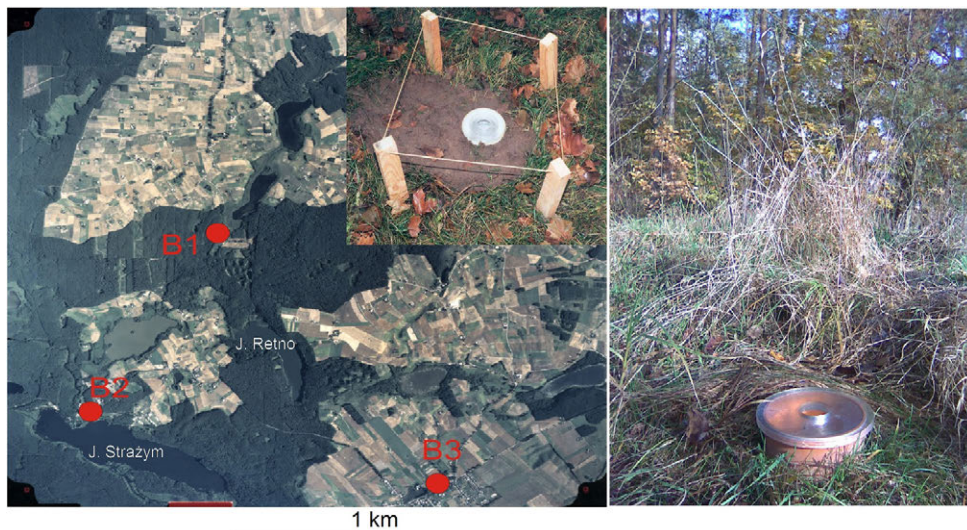


Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk. A – położenie Jeziora Żabińskiego oraz stanowisk objętych monitoringiem współczesnego opadu pyłku w północnej Polsce, oznaczone gwiazdką; B – wiercenia na Jeziorze Żabińskim oraz fragment rocznie laminowanych osadów dennych jeziora, oznaczone kółkiem. Fot. W. Tylmann

Fig. 1. Location of sites. A – Lake Żabińskie (marked with a star) as well as the sites included in the modern pollen monitoring program in N Poland (marked with a circle); B – coring on Lake Żabińskie and fragment of annually laminated bottom sediment from the lake. Photo by W. Tylmann

Kopalne dane palinologiczne – Jezioro Żabińskie, Kraina Wielkich Jezior Mazurskich

Jezioro Żabińskie ($54^{\circ}07'54,5''N$ $21^{\circ}59'01,1''E$; 116,8 m n.p.m.; Ryc. 1) jest położone na obszarze Krainy Wielkich Jezior Mazurskich w młodoglacjalnym krajobrazie, ukształtowanym w fazie pomorskiej zlodowacenia Wisły. Klimat obszaru o cechach kontynentalnych należy do najzimniejszych w Polsce ze średnią temperaturą stycznia $-4,5^{\circ}C$ i średnią temperaturą lipca $17,5^{\circ}C$ (Woś 1999). Średnia wartość rocznych



Ryc. 2. Pułapki typu Taubera B1, B2 i B3 rozmieszczone w rejonie Brodnickiego Parku Krajobrazowego. Fot. A. M. Noryśkiewicz

Fig. 2. Tauber's type pollen traps B1, B2 and B3 distributed in Brodnica Landscape Park. Photo by A. M. Noryśkiewicz

opadów występujących przeważnie w okresie letnim, wynosi ok. 570 mm (SIUTA 1994). Jezioro jest obecnie zbiornikiem eutroficznym o powierzchni 40,6 ha, z maksymalną głębokością wody 44 m (BONK i in. 2015). Posiada kilka małych dopływów m.in. z jeziora Purwin oraz odpływ łączący go ze znacznie większym jeziorem Gołdopiwo. Jezioro Żabińskie leży w obrębie gminy Krukłanki. Ma ona charakter rolniczo-leśny. Grunty orne stanowią tu ok. 20% powierzchni, użytki zielone, łąki i pastwiska ok. 18% i zbiorowiska leśne ok. 53% powierzchni. W odległości kilku kilometrów na wschód od jeziora zlokalizowany jest duży kompleks leśny Puszczy Boreckiej (SIUTA 1994). Roślinność potencjalną w otoczeniu jeziora, według MATUSZKIEWICZA (2008a), stanowiłyby głównie grądy subkontynentalne *Tilio-Carpinetum* w odmianie subborealnej ze świerkiem oraz kontynentalne bory mieszane sosnowo-dębowe *Quercus-Pinetum*. Wyraźnie mniejszy areal porastałyby kontynentalne bory mieszane *Peucedano-Pinetum* oraz łągi jesionowo-olszowe *Fraxino-Alnetum* i olsy środkowoeuropejskie *Carici elongatae-Alnetum* na terenach okresowo podmokłych.

Rdzenie rocznie laminowanego osadu dennego pobrano do badań sondą UWITEC (\varnothing 90 mm) z najgłębszego miejsca zlokalizowanego w centralnej części Jeziora Żabińskiego (Ryc. 1). W związku z tym, że osad był regularnie rocznie laminowany możliwe było stworzenie precyzyjnego modelu wiek – głębokość i określenie czasu akumulacji prób osadów przeznaczonych do analiz palinologicznych. Każda z prób zawierała sekwencję trzech kolejnych warw akumulowanych w ciągu trzech lat. Analizowano co drugą próbę uzyskując zapis nieciągły, w którym każde spektrum pyłkowe jest reprezentatywne dla ok. 6 lat. Przebadano 160 prób zliczając ok. 800 ziaren pyłku drzew i krzewów [AP] oraz wszystkie przypadające na tę sumę ziarna pyłku roślin zielnych lądowych [NAP], lokalnych, zarodnikowych i wybrane pozostałości niepyłkowe. W procesie obróbki laboratoryjnej stosowano zmodyfikowaną metodę acetolizy Erdtmanna (BERGLUND & RALSKA-JASIEWICZOWA 1986). W celu obliczenia wielkości rocznego opadu pyłku, do prób osadów przed acetolizą dodawano tabletki wskaźnikowe ze znaną liczbą zarodników *Lycopodium*. Szczegółowe informacje dotyczące preparatyki chemicznej osadów, obliczania udziałów procentowych taksonów oraz opracowania chronologii kalendarzowej osadów zawarte są m.in. w pracach BONK i in. (2015) i WACNIK i in. (2016). Dla wybranych taksonów obliczono wartości rocznej akumulacji pyłku (PAR – liczba ziaren pyłku określonego taksonu lub grupy taksonów deponowana w ciągu roku na powierzchni 1 cm²) według SEPPÄ i in. (2009). Dla osadów kopalnych wartości PAR są obliczane sporadycznie, a niewątpliwym i uzasadnionym ograniczeniem jest brak możliwości precyzyjnego określenia zakresu czasowego

akumulacji pyłku w próbach kopalnych. Wyjątkiem w tym względzie są osady rocznie laminowane. Do wykreślenia diagramów użyto pakietu programów komputerowych POLPAL (NALEPKA & WALANUS 2003, <http://adamwalanus.pl/Polpal.html>).

WYNIKI

Współczesny opad pyłku

W trakcie 19 lat monitoringu, przeprowadzonego w latach 1998–2016 z użyciem pułapek B1, B2 i B3, zlokalizowanych w odległości 400 m, 1000 m i 1700 m od najbliższych pyłających drzew buka w Brodnickim Parku Krajobrazowym, uzyskano średnie wartości PAR *Fagus* dla poszczególnych stanowisk wynoszące odpowiednio 155, 139 i 106 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$. Wielkości zliczeń wahały się w zależności od roku i stanowiska od 0 do 1395 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$. Równocześnie udziały procentowe zawierały się w przedziale od 0 do 4,3% (Tab. 1).

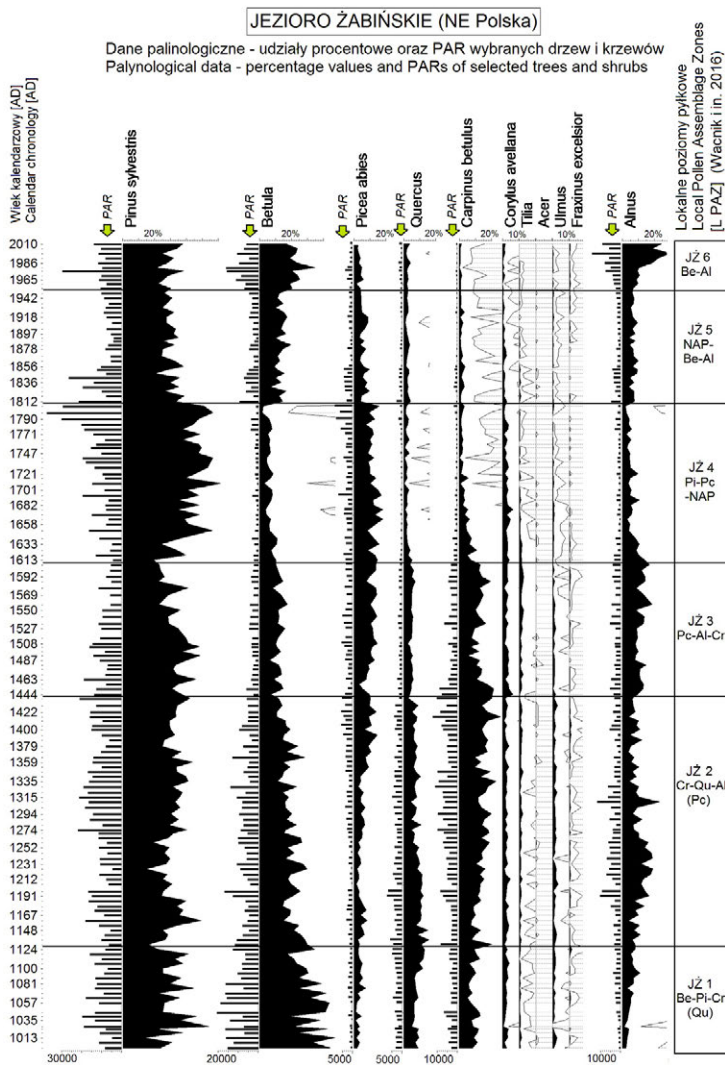
Tabela 1. Wielkość rocznej akumulacji pyłku (PAR) oraz udziały procentowe pyłku ze stanowisk objętych współczesnym monitoringiem pyłkowym z rejonu Brodnickiego Parku Krajobrazowego w latach 1998–2016. b.d. – brak danych

Table 1. Pollen accumulation rates (PARs) and percentage pollen values from the modern pollen monitoring sites in Brodnica Landscape Park in 1998–2016. b.d. – data not available

Rok (Year)	Stanowisko (Site)					
	B1 / Tęgowiec		B2 / Grzmięca		B3 / Pokrzydowo	
	PAR	%	PAR	%	PAR	%
2016	21	0,1	78	0,2	37	0,2
2015		b.d.	0	0	0	0
2014	0	0	61	0,1	0	0
2013	112	0,2	0	0	0	0
2012		b.d.		b.d.	123	0,3
2011	839	1,3	248	0,8	7	0,1
2010	0	0	22	0,1	12	0,1
2009	80	0,1	31	0,4		b.d.
2008	29	0,1	15	0,1	0	0
2007	90	0,3	0	0	101	0,2
2006	722	1,3	1395	4,3	1305	1,6
2005	0	0	0	0	0	0
2004	238	1,9	60	0,2	9	0,1
2003	14	0,1	48	0,1	35	0,4
2002	159	0,1	15	0,1	24	0,2
2001	37	0,1	79	0,2	0	0
2000	302	0,9	285	0,9	147	0,5
1999	0	0	26	0,2	0	0
1998	0	0	138	0,9		b.d.
Wartość średnia PAR (Mean PAR value)	155		139		106	
Odległość od pyłających drzew buka (Distance from pollinating beech trees)	400 m		1000 m		1700 m	

Kopalne dane palinologiczne z Jeziora Żabińskiego

Wykonane analizy palinologiczne 3-letnich prób rocznie laminowanego osadu jeziornego dały możliwość określenia zmian wielkości rocznego opadu pyłku w regionie, w ostatnim tysiącleciu. Rezultaty analiz palinologicznych zostały zestawione w formie procentowego

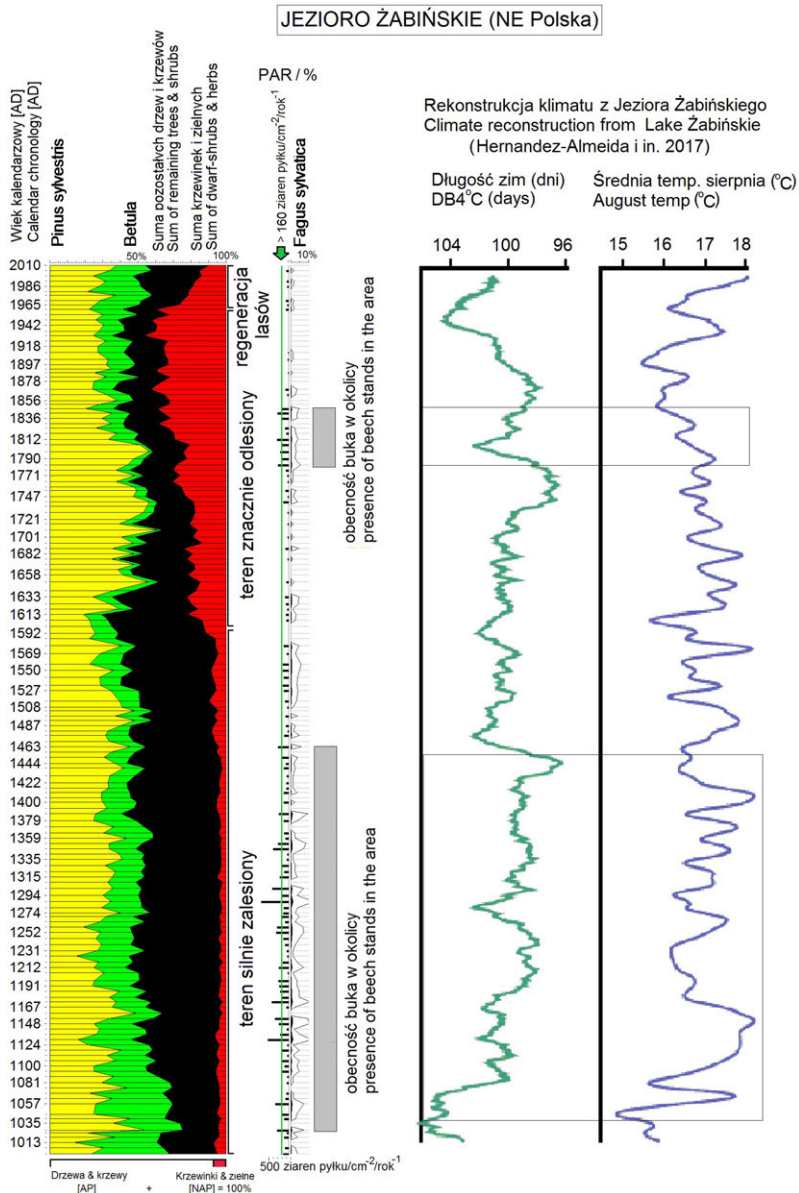


Ryc. 3. Jezioro Żabińskie. Dane palinologiczne prezentujące zmiany składu zbiorowisk leśnych zarejestrowane w rocznie laminowanych osadach jeziornych w okresie 1000–2010 AD. Zestawienie procentowych udziałów pyłku oraz wartości rocznej akumulacji pyłku (PAR) wybranych taksonów lasotwórczych. Skróty: Be – *Betula*; Pi – *Pinus*; Cr – *Carpinus*; Qu – *Quercus*; Al – *Alnus*; Pc – *Picea*; NAP – rośliny zielne łądowe

Fig. 3. Lake Żabińskie. Palynological data showing changes in the woodland communities registered in the annually laminated lake sediments between AD 1000 and AD 2010. Percentage pollen values and pollen accumulation rates (PARs) of selected forest-forming taxa. Abbreviations: Be – *Betula*; Pi – *Pinus*; Cr – *Carpinus*; Qu – *Quercus*; Al – *Alnus*; Pc – *Picea*; NAP – terrestrial herbs

diagramu pyłkowego oraz histogramów prezentujących wielkość rocznej produkcji pyłku wybranych taksonów drzew i krzewów (Ryc. 3, 4).

Udział procentowy pyłku buka w spektrach późnoholoceničkih był bardzo niski i wynosił maksymalnie 1,3%. Wartości PAR również były niskie i osiągnęły wartość maksymalną



Ryc. 4. Jezioro Żabińskie. Związek pomiędzy lokalną obecnością nielicznych stanowisk *Fagus sylvatica* zarejestrowaną w danych palinologicznych i zmianami klimatycznymi w ostatnim tysiącleciu

Fig. 4. Lake Żabińskie. Correlation between the local presence of single stands of *Fagus sylvatica* registered in the pollen data and reconstructed climate changes in the last millennium

Tabela 2. Jezioro Żabińskie. Zmiany rocznej akumulacji pyłku (PAR) i udziały procentowe *Fagus sylvatica* uzyskane w wydzielonych przedziałach czasowych w kopalnych spektrach pyłkowych. * – faza wyższej frekwencji pyłku buka

Table 2. Lake Żabińskie. Pollen accumulation rates (PARs) and percentage values of *Fagus sylvatica* pollen obtained from subfossil pollen spectra in selected chronological periods. * – higher frequency of beech pollen

Przedział czasowy (Chronological period)	PAR min. / max.	Udział procentowy pyłku min. / max. (Percentage value of pollen min. / max.)	Liczba prób w których obecny jest pyłek <i>Fagus</i> / Ogólna liczba prób (Number of samples with <i>Fagus</i> pollen / Total number of samples)
2010–1852 AD	0 / 78	0 / 0,4%	11 / 28
1847–1783 AD	0 / 267	0 / 0,5%	10 / 11*
1777–1586 AD	0 / 126	0 / 0,4%	17 / 30
1578–1469 AD	0 / 144	0 / 0,6%	13 / 16
1463–1000 AD	0 / 607	0 / 1,3%	65 / 73*

607 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$. W analizowanych próbach pyłkowych z Jeziora Żabińskiego stwierdzono kilka przedziałów czasowych, w których PAR *Fagus* miały zbliżoną wartość (Tab. 2).

Zastosowanie współczesnych wartości PAR *Fagus* do analizy wyników z osadów późnholoceńskich

Wartość średnią PAR *Fagus*, uzyskaną z Brodnickiego Parku Krajobrazowego, wynoszącą ≥ 160 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$, użyto do analizy spektrów z Jeziora Żabińskiego, deponowanych w okresie 1000–2010 AD (Ryc. 4). Wykazano, że wartość PAR *Fagus* w próbach kopalnych przekraczała wspomnianą wartość średnią z Pojezierza Brodnickiego. Miało to miejsce w spektrach datowanych na ok. 1030–1460 AD i ok. 1780–1850 AD. Wartość procentowa pyłku buka wynosiła wówczas od 0,3 do 1,3. W okresie ok. 1530–1560 AD wartość PAR wahała się pomiędzy 120 a 144 ziarna pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$, a wartość procentowa od 0,3 do 0,6. W pozostałych przedziałach czasowych zawartość pyłku buka była jeszcze niższa.

DYSKUSJA I WNIOSKI

Czy buk był obecny w sąsiedztwie Puszczy Boreckiej w ostatnim tysiącleciu?

Kilkuletnie analizy współczesnego opadu pyłku przeprowadzone w północnej Polsce wykazały, że w przypadku występowania małych płatów lasów bukowych rosnących w odległości mniejszej niż 2 km od pułapek typu Taubera, średnie wartości PAR wynoszą: 558 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ na Pojezierzu Kaszubskim (najbliższe drzewa buka w zależności od lokalizacji pułapek w odległości 20–30 m), 229 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ w Borach Tucholskich, Rezerwat Wierzchlas (drzewa buka w odległości 800–1400 m), 211 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ w Borach Tucholskich, stanowisko Widno (drzewa buka w odległości 20–400 m).

Obserwacje wykonane przez A. Filbrandt-Czaję w latach 1998–2007, w Rezerwacie Las Piwnicki w rejonie Torunia, z użyciem dwóch pułapek rozmieszczonych w odległości 200 i 500 m od najbliższych drzew wykazały średnią wartość PAR buka wynoszącą odpowiednio 137 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ i 37 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ (PIDEK i in. 2010). Natomiast prezentowane w tej pracy wyniki uzyskane na Pojezierzu Brodnickim w odległości 400, 1000 i 1700 m od okazów buka udokumentowały średnią wartość PAR wynoszącą odpowiednio 155, 139 i 110 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$.

PIDEK i in. (2010) stwierdzili także, że liczba ziaren pyłku *Fagus sylvatica* znacząco spada w odległości 300 m od najbliższych pylących drzew, a zdecydowana większość nie rozprzestrzenia się dalej niż 1800 m. Zestawienie wyników współczesnego monitoringu pyłkowego w Europie pokazuje, że wartości PAR *Fagus* różnią się znacznie m.in. w zależności od kompozycji i struktury zbiorowisk leśnych, od ich powierzchni i oddalenia pułapek zbierających opad pyłku od emitujących go roślin. Wspomniane badania udokumentowały też istnienie u buka zjawiska lat nasiennych oraz lat z wysoką oraz niską produkcją pyłku (PIDEK i in. 2010).

Pierwsze próby zmierzające do określenia PAR *Fagus* w laminowanych osadach jeziornych Krainy Wielkich Jezior Mazurskich zostały wykonane dla kilku prób z Jeziora Miłkowskiego (gmina Miłki). Uzyskano tam maksymalną wartość PAR wynoszącą 64 ziarna pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$, która sugerowała, że buk nie występował w okolicznych lasach (WACNIK i in. 2012). KARPIŃSKA-KOŁACZEK i in. (2013), badając nielaminowane osady denne Jeziora Czarne (gmina Banie Mazurskie), uznali za możliwą sporadyczną obecność buka ok. 2350 BC w lasach, pomimo że PAR były bardzo niskie i wynosiły ok. 50 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$. W przypadku Jeziora Żabińskiego (gmina Kruklanki) wyniki PAR *Fagus* okresowo przekraczały nie tylko wartość średnią z Pojezierza Brodnickiego (ok. 160 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$), ale też wartość notowaną w Borach Tucholskich (ok. 230 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$). W obu przypadkach wartości PAR wiązały się z obecnością buka w odległości nie większej niż kilkaset do 1700 m. W pojedynczym tylko spektrum datowanym na 1287 AD odnotowano 607 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$, co przekracza nawet wartość średnią stwierdzoną współcześnie na Pojezierzu Kaszubskim.

Wspomniane wyniki sugerują, że w okresie 1000–2010 AD buk nie był stałym elementem lokalnego drzewostanu w rejonie Puszczy Boreckiej. Natomiast przemawiają za jego obecnością w okresie od połowy XI do połowy XV w. i być może na przełomie XVIII i XIX w., w postaci rozproszonych stanowisk na terenie Krainy Wielkich Jezior Mazurskich (w odległości do ok. 2 km od Jeziora Żabińskiego).

Buk zwyczajny, będący drzewem wiatropylnym, rozpoczyna kwitnienie stosunkowo późno, bo w terenie otwartym w wieku 40–50 lat, a w zwartym drzewostanie, gdy osiągnie 60–80 lat (FIRBAS 1949, za: BRADSHAW i in. 2010). Zatem obecność jego ziaren pyłku w deszczu pyłkowym wiąże się z lokalnym występowaniem drzew kilkudziesięcioletnich. Równocześnie, obecność okazów młodszych niż 40 lat nie jest możliwa do wykrycia drogą analizy pyłkowej, a jedynie w badaniach pozostałości drewna. Zdaniem NORYSKIEWICZ (2013), skałość szczątków kopalnych buka może wynikać m.in. ze słabego rozpoznania antrakologicznego i karpologicznego obszaru północnej Polski. W badanym regionie Krainy Wielkich Jezior Mazurskich drewno buka odkryto na stanowiskach archeologicznych: (1) Szczepanki

i Dudka – stanowiska paraneolitycznej kultury Zedmar (VI–V tys. BP; GUMIŃSKI & MICHNIEWICZ 2003; CYWA & WACNIK 2011), (2) Pieczarki i Mołtajny, gdzie natrafiono na drobne przedmioty: trzoneczki narzędzi, kliny, zatyczki z drewna bukowego w pozostałościach osady nawodnej kultury kurhanów zachodniobałtyjskich (ok. 750–380 BC = 2500–2300 BP; GACKOWSKI 2014) oraz (3) Paprotki Kolonia, skąd pochodzi fragment narzędzia odnaleziony na stanowisku kultury bogaczewskiej (datowanej na I w. do pierwszej połowy V stulecia naszej ery; KARCEWSKI 2011; WACNIK i in. 2014). Jednakże, ze względu na związek tych znalezisk z działalnością człowieka, nie jest możliwe potwierdzenie lokalnego pochodzenia użytego surowca drzewnego.

Na produkcję, jak i rozprzestrzenianie pyłku buka wpływa w dużym stopniu klimat (np. DZWONKO 1990; BOLTE i in. 2007; PIDEK i in. 2010). Analiza porównawcza wartości PAR *Fagus* z okresu 1030–1460 AD z rekonstrukcjami klimatycznymi z Jeziora Żabińskiego (Ryc. 3) wskazuje, że najwyższym wartościom PAR *Fagus* towarzyszyła wyższa średnia temperatura sierpnia (ok. 1050–1150 AD i ok. 1220–1420 AD), oraz krótsze okresy zimowe z liczbą dni z temperaturą poniżej 4°C (ok. 1060–1450 AD; HERNÁNDEZ-ALMEIDA i in. 2017). PRZYBYŁAK (2016) wskazuje, że okres tzw. średniowiecznego optimum klimatycznego z klimatem o cechach oceanicznych trwał w Polsce nawet do początku XV w. Prawdopodobnie ze sprzyjającymi warunkami klimatycznymi można zatem łączyć okresowe lokalne występowanie buka w tym okresie od XI w. do połowy XV w. Jak wynika z danych historycznych, obszar pomiędzy Węgorzewem, Giżyckiem i Puszcą Borecką był silnie zalesiony i w małym stopniu zasiedlony aż do połowy XVI stulecia. Pozostaje to w zgodzie z obrazem palinologicznym uzyskanym z Jeziora Żabińskiego, gdzie początek trwałych, rozległych odlesień przypada ok. 1590–1610 AD (WACNIK i in. 2016). Nasilenie wpływu antropogenicznego na roślinność nastąpiło w okresie tzw. małej epoki lodowej, trwającej od połowy XVI w. do drugiej połowy XIX stulecia, kiedy klimat był bardziej kontynentalny (PRZYBYŁAK 2016 i cytowana tam literatura). Pogorszenie warunków klimatycznych zostało zarejestrowane w rekonstrukcjach z Jeziora Żabińskiego. Dłuższym zimom towarzyszyły stosunkowo wysokie średnie temperatury sierpnia w okresie ok. 1450–1740 AD. W tym czasie PAR *Fagus* osiągał wartości poniżej średniej, co można interpretować jako wskaźnik jego nieobecności w lasach w okolicy jeziora. Oczywiście należy mieć też na uwadze możliwość obniżenia produkcji pyłku spowodowanej przez niesprzyjające sezony zimowe, np. z późnymi wiosennymi przymrozkami. Trudny do interpretacji jest natomiast drugi okres wyższych PAR *Fagus*, datowany na ok. 1780–1850 AD (Ryc. 3). Rekonstrukcje klimatyczne z Jeziora Żabińskiego wskazują, że po okresie krótkich zim ok. 1750–1790 AD nastąpiło ich wydłużenie, ok. 1790–1820 AD. Zaznaczył się też stopniowy spadek temperatury sierpnia od ok. 1800 AD (HERNÁNDEZ-ALMEIDA i in. 2017). Z jednej strony klimat nie sprzyjał kwitnieniu buka, a z drugiej był to już okres silnych przekształceń antropogenicznych roślinności. Wskazanie przyczyny prawdopodobnej obecności buka w regionie na przełomie XVIII i XIX w. wymaga dalszych badań. W związku z tym, że PAR *Fagus* w osadach kopalnych zrekonstruowano po raz pierwszy w regionie z rozdzielczością ok. 6 lat, interpretacja wyników wymaga dalszych weryfikacji również na innych stanowiskach oraz przeprowadzenia szczegółowych korelacji z danymi klimatycznymi i historycznymi.

PODSUMOWANIE

Pomimo że w ostatnich 20 latach nastąpił znaczny wzrost zainteresowania postglacjalną historią roślinności północno-wschodniej Polski, co przyniosło szczegółowe określenie wzorców przemian szaty roślinnej charakterystycznych dla niektórych regionów, ciągle jednak pozostają kwestie wymagające badań z użyciem nowych metod badawczych. Jednym z takich zagadnień jest występowanie w holocenie rozproszonych stanowisk buka na terenie Pojezierza Mazurskiego i poznanie zmian zasięgu tego gatunku w długiej perspektywie czasowej, w powiązaniu ze zmianami klimatu.

Badania współczesnego opadu pyłku przeprowadzone w latach 1998–2016 na trzech stanowiskach na terenie Brodnickiego Parku Krajobrazowego pozwoliły określić średnie wartości PAR *Fagus* w zakresie ok. 160–110 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$ w przypadku, gdy pułapki pyłkowe rozmieszczono w odległości 400–1700 m od najbliższych okazów buka.

Cennym narzędziem bardziej precyzyjnej rekonstrukcji składu dawnych zbiorowisk leśnych jest porównanie wartości PAR *Fagus* pochodzących ze współczesnego monitoringu i kopalnych wartości PAR *Fagus*, obliczonych dla rocznie laminowanych osadów z precyzyjnie opracowaną chronologią. Przykładem takich badań są analizy palinologiczne z Jeziora Żabińskiego wykonane z wysoką 6-letnią rozdzielczością.

Badania wykazały, że w okresie 1000–2010 AD buk nie był stałym elementem lokalnego drzewostanu, ale występował w rejonie Puszczy Boreckiej na rozproszonych stanowiskach w okresie od połowy XI do połowy XV w. i być może na przełomie XVIII i XIX stulecia.

Analiza udziałów procentowych pyłku w próbach z Jeziora Żabińskiego, dla których obliczona wartość PAR *Fagus* była wyższa niż 160 ziaren pyłku $\text{cm}^{-2} \text{rok}^{-1}$, wykazała, że kształtują się one w granicach 0,3–1,3%. Wartości te są na ogół zgodne z wcześniejszymi określeniami wartości progowych pyłku potwierdzających lokalną obecność drzew.

Analiza zakresów czasowych występowania wyższych wartości PAR *Fagus* z Jeziora Żabińskiego oraz rekonstrukcji klimatycznych dla tego zbiornika, wskazuje na związek obecności buka z okresami z krótszymi zimami oraz wyższą średnią temperaturą sierpnia.

Podziękowania. Badania palinologiczne Jeziora Żabińskiego zostały sfinansowane ze środków szwajcarskiego programu współpracy z nowymi krajami członkowskimi Unii Europejskiej w ramach projektu CLIMPOL (PSPB-086/2010) oraz ze środków na działalność statutową Instytutu Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk. Badania współczesnego monitoringu pyłkowego wykonano ze środków na działalność statutową Wydziału Nauk o Ziemi i Instytutu Archeologii UMK w Toruniu.

Wyrażamy ogromną wdzięczność Recenzentom za cenne komentarze i uwagi do pracy.

LITERATURA

- BERGLUND B. E. & RALSKA-JASIEWICZOWA M. 1986. Pollen analysis and pollen diagrams. – W: B. E. BERGLUND (red.), Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology, s. 455–484. Wiley, Chichester.
- BOLTE A., CZAJKOWSKI T. & KOMPA T. 2007. The north-eastern distribution area of European beech – a review. – Forestry **80**: 413–429.

- BONK A., TYLMANN W., GOSLAR T., WACNIK A. & GROSJEAN M. 2015. Comparing varve counting and 14C-AMS chronologies in the sediments of Lake Żabińskie, Poland: implications for accurate 14C dating of lake sediments. – *Geochronometria* **42**: 159–171.
- BORATYŃSKA K. & BORATYŃSKI A. 1990. Systematyka i geograficzne rozmieszczenie. – W: S. BIAŁOBOK (red.), *Buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L.*, s. 27–73. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań.
- BRADSHAW R. H. W., KITO N. & GIESECKE T. 2010. Factors influencing the Holocene history of *Fagus*. – *Forest Ecology and Management* **259**: 2204–2212
- BRZEZIECKI B. 1995. Skale nominalne wymagań klimatycznych gatunków leśnych. – *Sylwan* **139**(3): 53–65.
- BÜNTGEN U., TEGEL W., NICOLUSSI K., MCCORMICK M., FRANK D., TROUET V., KAPLAN J. O., HERZIG F., HEUSSNER K.-U., WANNER H., LUTERBACHER J. & ESPER J. 2011. 2500 years of European climate variability and human susceptibility. – *Science* **331**: 578–582.
- CHOIŃSKI A. 1991. Katalog jezior Polski. Part. II. Pojezierze Mazurskie. s. 157. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- CYWA K. & WACNIK A. 2011. The charcoal and wood remains and the settlement activity of the Zedmar culture population at Szczepanki site 8 (NE Poland). – *Sagvntvm Extra* **11**: 137–138.
- DĄBROWSKI S., POLAKOWSKI B. & WOŁOS L. 1999. Obszary chronione i pomniki przyrody województwa warmińsko-mazurskiego. s. 130. Urząd Wojewódzki, Wydział Ochrony Środowiska i Rolnictwa w Olsztynie, Olsztyn.
- DEGÓRSKI M. 1984. Porównanie stopnia kontynentalizmu w Polsce określanego metodami klimatologiczną i bioindykacyjną. – *Przegląd Geograficzny* **56**(3–4): 55–73.
- DZWONKO Z. 1990. Ekologia. – W: S. BIAŁOBOK (red.), *Buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L.*, s. 237–328. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań.
- GACKOWSKI J. 2014. Drewno w życiu społeczności wczesnej epoki żelaza w świetle wyników badań wybranych osiedli Polski północno-wschodniej. – W: M. KARCEWSKI, E. SMOLSKA & KALICKI T. (red), *Środowisko przyrodnicze, gospodarka, osadnictwo i kultura symboliczna w V w. p.n.e. – VII w. n.e. w dorzeczu Odry i Wisły. Środowisko – Człowiek – Cywilizacja*. **3**, s. 49–60. Seria wydawnicza Stowarzyszenia Archeologii Środowiskowej. Białystok – Warszawa – Kielce.
- GAŁKA M. & APOLINARSKA K. 2014. Climate change, vegetation development, and lake level fluctuations in Lake Purwin (NE Poland) during the last 8600 cal. BP based on a high-resolution plant macrofossil record and stable isotope data (δ13C and δ18O). – *Quaternary International* **328–329**: 213–225.
- GOSLAR T., BAŁAGA K., ARNOLD M., TISNERAT N., STARNAWSKA E., KUŹNIARSKI M., CHRÓST L., WALANUS A. & WIĘCKOWSKI K. 1999. Climate-related variations in the composition of the Lateglacial and Early Holocene sediments of Lake Perespilno (eastern Poland). – *Quaternary Science Reviews* **18**: 899–911.
- GUMIŃSKI W. & MICHNIEWICZ M. 2003. Forest and mobility. A case from the fishing camp site Dudka, Masuria, north-eastern Poland. – W: L. LARSSON, H. KINDGREN, K. KNUTSSON, D. LOEFFLER & A. ÅKERLUND (red.), *Mesolithic on the Move*, s. 119–127. Oxbow Books, Oxford.
- HERNÁNDEZ-ALMEIDA I., GROSJEAN M., GÓMEZ-NAVARRO J. J., LAROCQUE-TOBLER I., BONK A., ENTERS D., USTRZYCKA A., PIOTROWSKA N., PRZYBYŁAK R., WACNIK A., WITAK M. & TYLMANN W. 2017. Resilience, rapid transitions and regime shifts: fingerprinting the responses of Lake Żabińskie (NE Poland) to climate variability and human disturbance since AD 1000. – *The Holocene* **27**: 258–270.
- HICKS S., AMMANN B., LATAŁOWA M., PARDOE H. & TINSLEY H. 1996. European Pollen Monitoring Programme, project description and guidelines. s. 28. Oulu University Press, Oulu.
- HULTBERG T., GAILLARD M.-J., GRUNDMANN B. & LINDBLADH M. 2015. Reconstruction of past landscape openness using the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA) applied on three local pollen sites in a southern Swedish biodiversity hotspot. – *Vegetation History and Archaeobotany* **24**(2): 253–266.

- KARCZEWSKI M. 2011. Archeologia środowiska zachodniobałtyjskiego kręgu kulturowego na pojezierzach. s. 484. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań – Białystok.
- KARPIŃSKA-KOŁACZEK M., KOŁACZEK P. & STACHOWICZ-RYBKA R. 2013. Pathways of woodland succession under low human impact during the last 13,000 years in northeastern Poland. – *Quaternary International* **328–329**: 196–212.
- KINDER M., TYLMANN W., ENTERS D., PIOTROWSKA N., POREBA G. & ZOLITSCHKA B. 2013. Construction and validation of calendar-year time scale for annually laminated sediments: an example from Lake Szurpiły (NE Poland). – *GFF* **135**: 248–257.
- LAMENTOWICZ M., MILECKA K., GAŁKA M., CEDRO A., PAWLYTA J. & PIOTROWSKA N. 2009. Climate and human induced hydrological change since AD 800 in an ombrotrophic mire in Pomerania (N Poland) tracked by testate amoebae, macro-fossils, pollen and tree rings of pine. – *Boreas* **8**(2): 214–229.
- LATAŁOWA M. & VAN DER KNAAP W. O. 2006. Late Quaternary expansion of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Europe according to pollen data. – *Quaternary Science Reviews* **25**: 2780–2805.
- LATAŁOWA M., RALSKA-JASIEWICZOWA M., MIOTK-SZPIGANOWICZ G., ZACHOWICZ J. & NALEPKA D. 2004. *Fagus sylvatica* L. – Beech. – W: M. RALSKA-JASIEWICZOWA, M. LATAŁOWA, K. WASYLKOWA, K. TOBOLSKI, E. MADEYSKA, H. E. WRIGHT & CH. TURNER (red.), Late Glacial and Holocene History of Vegetation in Poland Based on Isopollen Maps, s. 95–104. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- LISITSYNA O. V., GIESECKE T. & HICKS S. 2011. Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees. – *Review of Palaeobotany and Palynology* **166**(3–4): 311–324.
- MADEJA J. 2013. Vegetation changes and traces of human activity in the vicinity of Lake Łańskie (Olsztyn Lake District, N-E Poland) from the mid Holocene based on palynological study. – *Acta Palaeobotanica* **53**(2): 235–261.
- MAGRI D., VENDRAMIN G. G., COMPS B., DUPANLOUP I., GEBUREK T., GOMORY D., LATAŁOWA M., LITT T., PAULE L., ROURE J. M., TANTAU I., VAN DER KNAAP W. O., PETIT R. J. & DE BEAULIEU J. L. 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. – *New Phytologist* **171**: 199–221.
- MATUSZKIEWICZ J. M. 2008a. Potencjalna roślinność naturalna Polski. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, <http://www.igipz.pan.pl/Roslinnosc-potencjalna-zgik.html> (dostęp: 19.09.2017).
- MATUSZKIEWICZ J. M. 2008b. Zespoły leśne Polski. s. 378. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MATUSZKIEWICZ J. M. & KOWALSKA A. 2017. Dyspersja lasów bukowych (*Fagion sylvaticae*) na Pojezierzu Mazurskim – studium przypadku: od rejestracji faktu do interpretacji biogeograficznej. – *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* **24**(1): 17–28.
- NALEPKA D. & WALANUS A. 2003. Data processing in pollen analysis. – *Acta Palaeobotanica* **43**(1): 125–134.
- NORYŚKIEWICZ A. 1996. Wronie. – W: M. REJEWSKI & P. BIELECKI (red.), Rezerwaty przyrody województwa toruńskiego, s. 67–70. Urząd Wojewódzki w Toruniu, Toruń.
- NORYŚKIEWICZ A. M. 2012. Historia roślinności i klimatu zarejestrowana w małym bezodpływowym zagłębieniu w rezerwacie Retno. – W: M. T. KARASIEWICZ, P. HULISZ & M. ŚWITONIAK (red.), Postglacjalna historia zagłębienia bezodpływowego w rezerwacie Retno (Pojezierze Brodnickie), s. 87–107. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- NORYŚKIEWICZ A. M. 2013. Historia roślinności i osadnictwa ziemi chełmińskiej w późnym holocenie. Studium palinologiczne. s. 205. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.

- NORYŚKIEWICZ B. 1987. History of vegetation during the Late Glacial and Holocene in Brodnica Lake District in the light of pollen analysis of Lake Strażym deposits. – *Acta Palaeobotanica* **27**(1): 283–304.
- OBREMSKA M., NORYŚKIEWICZ A. M., OTT F., BOKINIEC E., SŁOWIŃSKI M., BŁASZKIEWICZ M. & BRAUER A. 2015. Wielbark culture tribes activity recordet in the named sediments of Lake Czechowskie (northern Poland). – W: M. J. SCHWAB, A. BRAUER, D. BRYKAŁA, P. GIRESZEWSKI, P. LAMPARSKI & M. BŁASZKIEWICZ (red.), Dynamics of climate and landscape evolution of cultural landscapes in the northern central European Lowlands since the Last Ice Age, 4th Annual ICLEA Workshop 2015, Abstract volume & Excursion guide, s. 91–92. Potsdam.
- PĘDZISZEWSKA A., TYLMANN W., WITAK M., PIOTROWSKA N., MACIEJEWSKA E. & LATAŁOWA M. 2015. Holocene environmental changes reflected by pollen, diatoms, and geochemistry of annually laminated sediments of Lake Suminko in the Kashubian Lake District (N Poland). – *Review of Palaeobotany and Palynology* **216**: 55–75.
- PIDEK I. A., SVITAVSKÁ-SVOBODOVÁ H., VAN DER KNAAP V. O., NORYŚKIEWICZ A. M., FILBRANDT-CZAJA A., NORYŚKIEWICZ B., LATAŁOWA M., ZIMNY M., ŚWIĘTA-MUSZNIICKA J., BOZILOVA E., TONKOV S., FILIPOVA-MARINOVA M., POSKA A., GIESECKE T. & GIKOV A. 2010. Variation in annual pollen accumulation rates of *Fagus* along a N–S transect in Europe based on pollen traps. – *Vegetation History and Archaeobotany* **19**: 259–270.
- PORAJ-GÓRSKA A. I., ŻARCZYŃSKI M. J., AHRENS A., ENTERS D., WEISBRODT D. & TYLMANN W. 2017. Impact of historical land use changes on lacustrine sedimentation recorded in varved sediments of Lake Jaczno, northeastern Poland. – *Catena* **153**: 182–193.
- POLPAL. <http://adamwalanus.pl/Polpal.html>.
- PRZYBYŁAK R. 2011. Changes in Poland's climate over the last millennium. – *Czasopismo Geograficzne* **82**: 23–48.
- PRZYBYŁAK R. 2016. Poland's Climate in the Last Millennium. Oxford Research Encyclopedia, Climate Science. Oxford University Press USA. DOI:10.1093/acrefore/9780190228620.013.2 <http://climate-science.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-2> (dostęp: 26.09.2017).
- RALSKA-JASIEWICZOWA M. 1966. Osady denne Jeziora Mikołajskiego na Pojezierzu Mazurskim w świetle badań paleobotanicznych. – *Acta Palaeobotanica* **7**: 1–118.
- RALSKA-JASIEWICZOWA M., GOSLAR T., MADEYSKA T. & STARKEL L. (red.). 1998. Lake Gościąż, central Poland. A monographic study. s. 340. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- REJEWSKI M. 1971. Lasy liściaste Ziemi Chełmińskiej. – *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Sectio D (Botanica)* **9**(3): 1–118.
- REJEWSKI M. 1996. Jamy. – W: M. REJEWSKI & P. BIELECKI (red.), Rezerваты przyrody województwa toruńskiego, s. 63–67. Urząd Wojewódzki w Toruniu, Toruń.
- SEPPÄ H., ALENUS T., MUUKKONEN P., GIESECKE T., MILLER P. A. & OJALA A. E. K. 2009. Pollen accumulation rates as a basis for quantitative tree biomass reconstructions. – *The Holocene* **19**: 209–220.
- SIUTA J. (red.). 1994. Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka. s. 130. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- STOCKMARR J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. – *Pollen Spores* **13**: 615–621.
- SUGITA S. 2007a. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. – *The Holocene* **17**: 229–241.
- SUGITA S. 2007b. Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE. – *The Holocene* **17**: 243–257.

- SZAL M., KUPRYJANOWICZ M., WYCZÓŁKOWSKI M. & TYLMANN W. 2014. The Iron Age in the Mrągowo Lake District, Masuria, NE Poland: the Sałęt settlement microregion as an example of long-lasting human impact on vegetation. – *Vegetation History and Archaeobotany* **23**(4): 419–437.
- TARASIUK S. 1999: Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) na obrzeżach zasięgu w Polsce. Warunki wzrostu i problemy hodowlane. s. 99. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- THEUERKAUF M., COUWENBERG J., KUPARINEN A. & LIEBSCHER V. 2016. A matter of dispersal: REVEALSinR introduces state-of-the-art dispersal models to quantitative vegetation reconstruction. – *Vegetation History and Archaeobotany* **25**(6): 541–553.
- WACNIK A., GOSLAR T. & CZERNIK J. 2012. Vegetation changes caused by agricultural societies in the Great Mazurian Lake District. – *Acta Palaeobotanica* **52**: 59–104.
- WACNIK A., KUPRYJANOWICZ M., MUELLER-BIENIEK A., KARZEWSKI M. & CYWA K. 2014. The environmental and cultural contexts of the late Iron Age and medieval settlement in the Mazurian Lake District, NE Poland: combined palaeobotanical and archaeological data. – *Vegetation History and Archaeobotany* **23**(4): 439–459.
- WACNIK A., TYLMANN W., BONK A., GOSLAR T., ENTERS D., MEYER-JACOB C. & GROSJEAN M. 2016. Determining the responses of vegetation to natural processes and human impacts in north-eastern Poland during the last millennium: combined pollen, geochemical and historical data. – *Vegetation History and Archaeobotany* **25**(5): 479–498.
- WOŚ A. 1999. Klimat Polski. s. 301. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- ZAJĄC A. & ZAJĄC M. (red.). 2001. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. s. xii + 714. Nakładem Pracowni Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- ZIELSKI A. 1978. Zespoły leśne Pojezierza Brodnickiego oraz wpływ na nie gospodarki leśnej i turystyki. – *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Sectio D (Botanica)* **10**(4): 1–85.

SUMMARY

The last millennium was an important period in the development of modern vegetation types in northeastern Poland. The distinct change in plant cover involved a transition from the predominance of woodland communities to a partly open environment with a high proportion of agrocenoses and seminatural woods, accompanied by increased intensity of settlement. The transformation of vegetation was well reflected in pollen diagrams from the Great Masurian Lake District.

Fagus sylvatica is one of the late-arriving trees in the Holocene in Poland, associated with oceanic climate and reaching its NE limit of distribution. The studied area of the Great Masurian Lake District is east of that limit, where only dispersed stands of beech occur now.

Growing interest in the postglacial vegetation history of NE Poland during the last twenty years has led to recognition of the spatiotemporal patterns of change in plant cover in selected regions, but some issues require further study. One of them is the presence/absence of beech in the Great Masurian Lake District during the Late Holocene, in the context of changes in climate. This subject has been discussed repeatedly in work aimed at defining the northern limit of beech in NE Poland.

In our study we combined modern pollen datasets from the Brodnica Lake District and a high-resolution subfossil pollen dataset from Lake Żabińskie sediments (Fig. 1). The *Fagus* pollen percentage values and calculated pollen accumulation rates (PARs) were analyzed. Modern pollen data collected in 1998–2016 from three sites in Brodnica Landscape Park (Tab. 1) showed that the mean *Fagus* PAR values varied from ca 160 to 110 pollen grains cm⁻² year⁻¹ when the pollen traps were placed 400 m and 1700 m, respectively, from the nearest pollinating beech.

Palynological study of annually laminated sediments from Lake Żabińskie provided a ca. 6-year high-resolution record of vegetation history and land use changes. This approach yielded a very detailed view

of the chronology, rate, extent and permanence of environmental changes. We analyzed the subfossil spectra using mean *Fagus* PAR of 160 pollen grains cm^{-2} year $^{-1}$ (derived from the modern pollen data from Brodnica Landscape Park, where beech forests do not presently occur) as the indicator of the presence of beech in the past.

Correlations suggested that beech was not a constant component of local woodland communities (Tab. 2) but most probably occurred as stands close to the Puszcza Borecka Forest area at least in ca. AD 1030–1460, when the climate may have been more favorable (shorter winters and higher mean August temperature), and possibly also between ca. AD 1780 and AD 1850 (Fig. 2). In these two periods the *Fagus* PAR values (≥ 160 pollen grains cm^{-2} year $^{-1}$) correspond to shares of 0.3–1.3% in the subfossil pollen sequence (Fig. 3). These observations generally confirm *Fagus* pollen threshold values already proposed as indicators of the presence of beech in the area.

Wpłynęło: 03.10.2017 r.; przyjęto do druku: 27.10.2017 r.