

Gliwice, 15 marca 2016

dr inż. Natalia Piotrowska

Zakład Zastosowań Radioizotopów

Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 22B

44-100 Gliwice

Załącznik 2**do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego****AUTOREFERAT****OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH****DR INŻ. NATALIA PIOTROWSKA****2.1. ŻYCIORYS NAUKOWY****IMIE I NAZWISKO:****Natalia Piotrowska****POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE:**

2005: Stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki; Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno-Fizyczny

Tytuł pracy doktorskiej: *Zmiany składu izotopowego węgla w osadach jeziornych dla potrzeb badań środowiska w przeszłości*

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Bluszcz.

2005: Dyplom ukończenia studiów podyplomowych *Methods of Absolute Dating and Applications*, Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno-Fizyczny

Tytuł pracy dyplomowej: *Preparation of bone samples for AMS radiocarbon dating*

2000: Stopień magistra inżyniera na kierunku Fizyka Techniczna, w zakresie specjalności Fizyka środowiska, z wynikiem bardzo dobry z wyróżnieniem; Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno-Fizyczny

Tytuł pracy magisterskiej: *Preparatyka próbek kości do datowania radiowęglowego AMS*

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Goslar.

INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU

2006-nadal: **Adiunkt;** Politechnika Śląska, Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne, Zakład Zastosowań Radioizotopów, w tym w okresach 01.2007-01.2008 oraz 11.2013-09.2014 urlopy macierzyńskie i wychowawcze.

2005-2006: **Asystent;** Politechnika Śląska, Instytut Fizyki, Zakład Zastosowań Radioizotopów.

2.2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

2.2.1. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA

Datowanie radiowęglowe AMS i modelowanie kalendarzowych skal czasu dla osadów torfowych i jeziornych jako podstawa wielowskaźnikowych rekonstrukcji zmian środowiska w przeszłości.

2.2.2. LISTA PUBLIKACJI wchodzących w skład osiągnięcia:

- A.1. **Piotrowska Natalia**, 2013. Status report of AMS sample preparation laboratory at GADAM Centre, Gliwice, Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 294, 176–181.
- A.2. **Piotrowska Natalia**, Blaauw Maarten, Mauquoy Dmitri, Chambers Frank M., 2011. Constructing deposition chronologies for peat deposits using radiocarbon dating. *Mires and Peat* [online, open-access] 2011, vol. 7, art. 10, 1-14.
- A.3. **Piotrowska Natalia**, De Vleeschouwer François, Sikorski Jarosław, Pawlyta Jacek, Fagel Nathalie, Le Roux Gaël, Pazdur Anna, 2010. Intercomparison of radiocarbon bomb pulse and ^{210}Pb age models. A study in a peat bog core from North Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 268(7-8): 1163-1166.
- A.4. Kinder Małgorzata, Tylmann Wojciech, Enters Dirk, **Piotrowska Natalia**, Poręba Grzegorz, Zolitschka Bernd, 2013. Construction and validation of calendar-year time scale for annually laminated sediments - an example from Lake Szurpily (NE Poland). *GFF - journal of the Geological Society of Sweden* 135, 248-257.
- A.5. Fiałkiewicz-Kozieł Barbara, Kołaczek Piotr, **Piotrowska Natalia**, Michczyński Adam, Łokas Edyta, Wachniew Przemysław, Woszczyk Michał, Sensuła Barbara, 2014. High resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies. *Radiocarbon* 56, 1–17.
- A.6. De Vleeschouwer François, **Piotrowska Natalia**, Sikorski Jarosław, Pawlyta Jacek, Cheburkin Andriy, Le Roux Gaël, Lamentowicz Mariusz, Fagel Nathalie, Mauquoy Dmitri, 2009a. Multiproxy evidences of Little Ice Age palaeoenvironmental changes in a peat bog from northern Poland. *The Holocene* 19,4: 625-637.
- A.7. Mackay Anson W., Bezrukova Elena V., Leng Melanie J., Meaney Miriam, Nunes Ana, **Piotrowska Natalia**, Self Angela, Shchetnikov Alexander, Shilland Ewan, Tarasov Pavel, Wang Luo, White Dustin, 2012. Aquatic ecosystem responses to Holocene climate change and biome development in boreal, central Asia. *Quaternary Science Reviews* 41, 119-131.

2.3. OMÓWIENIE GŁÓWNEGO OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

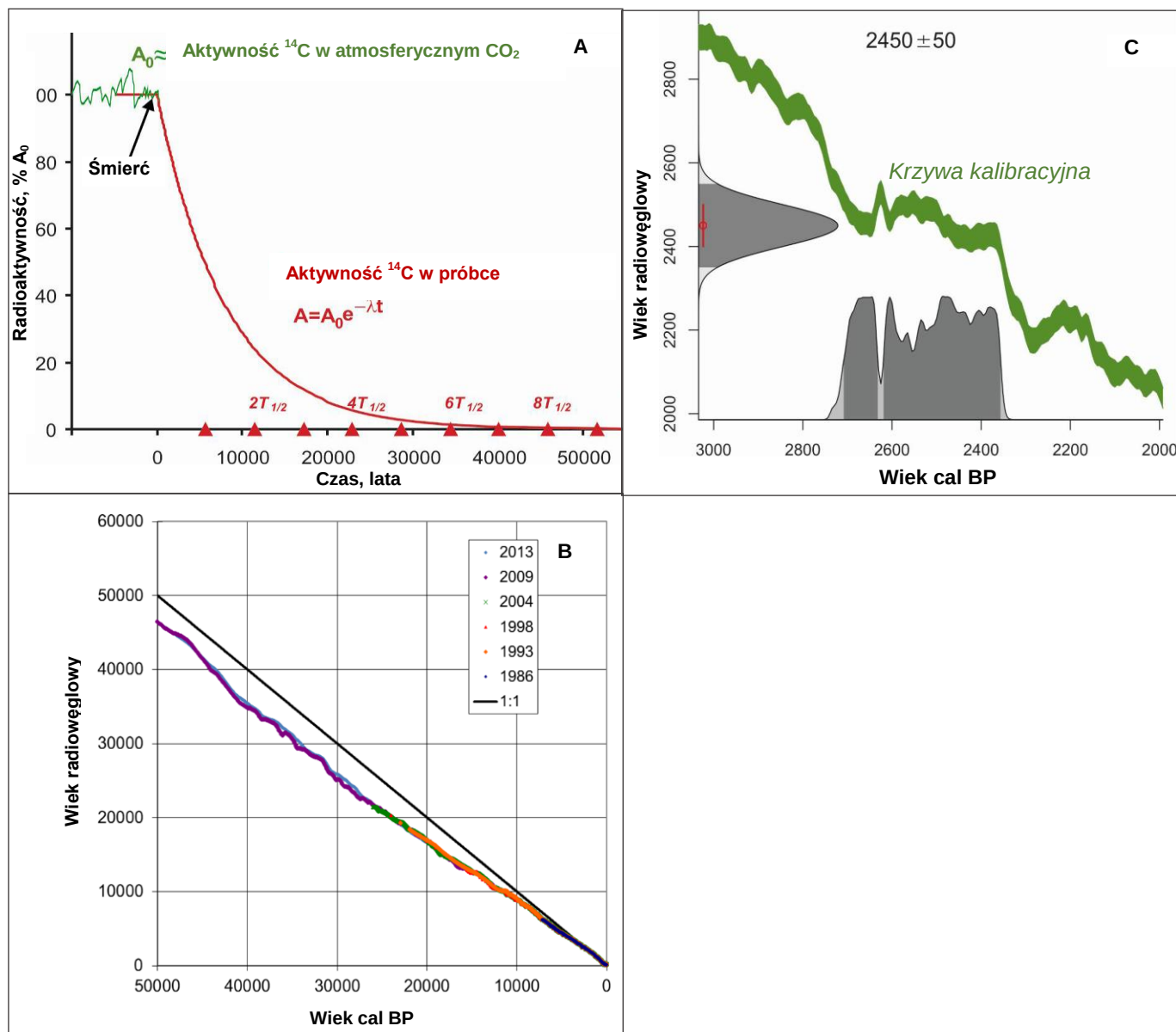
2.3.1. WPROWADZENIE W TEMATYKĘ BADAWCZĄ

Jednym z bardzo dobrze znanych i opracowanych zastosowań izotopów promieniotwórczych, występujących w środowisku, jest tzw. datowanie izotopowe. Mierząc koncentrację izotopu promieniotwórczego w badanej próbce oraz znając połowiczny czas jego zaniku można z dużą dokładnością określić wiek danego materiału. W datowaniu izotopowym dla potrzeb nauk o Ziemi szczególną rolę odgrywa metoda radiowęglowa, która wykorzystuje jeden z trzech naturalnych izotopów węgla – promieniotwórczy izotop ^{14}C , ulegający rozpadowi poprzez przemianę promieniotwórczą β , o czasie połowicznego zaniku 5730 ± 40 lat. Jej zasięg (ok. 50 000 lat) sprawia, że jest ona powszechnie stosowana do datowania zapisów klimatycznych obejmujących późny czwartorzęd (Pazdur i in. 1999). Podstawą metody jest stwierdzony eksperymentalnie fakt, że w momencie obumarcia organizmu żywego lub depozycji osadu zawierającego węgiel radioaktywność ^{14}C jest zbliżona do radioaktywności ^{14}C we współczesnej temu procesowi biosferze i atmosferycznemu CO_2 . Przy założeniu, że po obumarciu następuje ubytek izotopu ^{14}C jedynie wskutek rozpadu promieniotwórczego (Ryc. 1A), możemy wyznaczyć czas, jaki upłynął od momentu depozycji osadu, mierząc zawartość ^{14}C w chwili obecnej. W ten sposób wyznacza się wiek radiowęglowy w latach BP, odniesiony do roku 1950 jako wieku 0 BP, zwany również data radiowęglową.

Uzyskaną w wyniku procesu pomiarowego datę radiowęglową należy poddać przeliczeniu na wiek kalendarzowy przy użyciu krzywej kalibracyjnej. Krzywa ta, odzwierciedlająca zmienność koncentracji izotopu ^{14}C w atmosferycznym CO_2 w przeszłości, pozwala na uzyskanie zależności wieku kalendarzowego od wieku radiowęglowego (Reimer i in. 2013; Ryc. 1B). W wyniku procesu kalibracji otrzymuje się rozkład prawdopodobieństwa wieku kalendarzowego datowanej próbki. Z powodu niemonotonicznego i stosunkowo skomplikowanego przebiegu krzywej kalibracyjnej rozkład ten może posiadać wiele maksimów (Ryc. 1C). W konsekwencji nie można go prosto opisać poprzez parametry takie jak średnia i odchylenie standardowe, co znacznie utrudnia opracowanie statystyczne wyników. Współcześnie do kalibracji dat radiowęglowych wykorzystuje się stosunkowo zaawansowane metody statystyczne oparte na analizie bayesowskiej (np. Bronk Ramsey 2009).

Zawartość radiowęglu w badanej próbce określić można mierząc radioaktywność tego izotopu przy pomocy ciekłoscyntylacyjnej spektrometrii promieniowania β (w skrócie LSC – z ang. *Liquid Scintillation Counting*) lub gazowych liczników proporcjonalnych (w skrócie GPC – z ang. *Gas Proportional Counting*) albo mierząc bezpośrednio koncentrację izotopu ^{14}C przy pomocy techniki akceleratorowej spektrometrii masowej (w skrócie AMS – *Accelerator Mass Spectrometry*) (Tuniz i in. 1998). Technika AMS daje wiele możliwości ze względu na masę materiału niezbędną do wykonania analizy, która jest około 1000 razy mniejsza niż w przypadku technik radiometrycznych. W większości laboratoriów AMS próbkę przeznaczoną do datowania przygotowuje się do postaci grafitu, a najczęściej wymagana masa węgla w tej postaci wynosi 1 mg (Piotrowska 2013; A.1). Uzyskać ją można na przykład już z ok. 2 mg drewna, ok. 4-5 mg węgla drzewnych czy ok. 8-10 mg muszli. Możliwe jest także datowanie próbek mniejszych, zawierających masę

węgla rzędu mikrogramów, przy odpowiednim dostosowaniu parametrów zarówno procesu preparatyki, jak i przebiegu cyklu pomiarowego.



Ryc. 1. Podstawy datowania metodą radiowęglową: A – rozpad izotopu ^{14}C ; B – krzywa kalibracyjna (lata wskazują na kolejne, aktualizowane wersje krzywej, ostatnia pochodzi z 2013 roku (Reimer i in. 2013)); C – przykładowy wynik kalibracji daty radiowęglowej.

Aspektem niebagatelnym dla uzyskania wiarygodnych wyników datowania radiowęglowego jest odpowiednia selekcja próbek. Całość osadu geologicznego jest zazwyczaj mieszaniną różnych frakcji materii, których wiek może być skrajnie różny. Przykładem mogą być osady jeziorne, gdzie zawartość radiowęglu we frakcji organicznej (jeżeli jest głównie pochodzenia autochtonicznego) oraz węglanowej osadów jest zaniżona w stosunku do koncentracji w atmosferycznym CO_2 . Konsekwencją tego zjawiska jest przesunięcie wieku takich próbek w kierunku starszych wieków, nazywane efektem rezerwuarowym (np. Geyh i in. 1998). Efektu tego, często trudnego do oszacowania, można uniknąć separując z pobranego materiału fragmenty roślin lądowych, które asymilowały dwutlenek węgla z atmosfery, stąd ich wiek radiowęglowy jest reprezentatywny dla danej warstwy osadu. Za najbardziej wiarygodny materiał do

konstrukcji chronologii w badaniach osadów jeziornych uważa się makroszczątki roślin lądowych takie jak np. nasiona, fragmenty szyszek, pyłek roślinny (np. Oldfield i in. 1997, Piotrowska i in. 2004a, 2007). W przypadku innych osadów równie istotne jest oddzielenie dobrze zdefiniowanych botanicznie szczątków roślin, które czerpały węgiel z atmosfery, żyły stosunkowo krótko i nie przerastały sąsiednich warstw. Na przykład dla osadów torfowych zaleca się separację szczątków mchów torfowców (*Sphagnum*) (Kilian i in. 1995, De Vleeschouwer i in. 2009a (A.6), Piotrowska i in. 2010 (A.3), 2011(A.2)). Ponieważ ilość takiego materiału w wydobytych rdzeniach jest bardzo niewielka, rzędu miligramów suchej masy, dopiero technika AMS pozwala na jego datowanie. Ponadto dostępność materiału do badań multidyscyplinarnych o wysokiej rozdzielczości często jest ograniczona przez techniki poboru np. rdzeni osadów torfowych lub jeziornych oraz potrzeby analiz stanowiących podstawę rekonstrukcji zmian środowiska w przeszłości (np. Givélet i in. 2004). Dlatego obecne światowe standardy badań częstokroć wymagają zastosowania techniki AMS w datowaniu materiałów służących do badań środowiskowych, a zwłaszcza do badań zmian środowiska i klimatu w przeszłości.

Opracowanie bezwzględnej kalendarzowej skali czasu dla danego obiektu, np. rdzenia osadów torfowych lub jeziornych, polega na określeniu zależności wieku próbki od głębokości, z której została pobrana. Skala ta pozwala przedstawić zjawiska zachodzące w przyrodzie, w tym także wskaźniki zmian klimatu zapisane w archiwach paleoklimatycznych, na osi czasu, zastępując pierwotnie stosowane osie głębokości. Umożliwia ona zarówno interpretację wyników badań w odniesieniu do ich chronologii i określenie czasu trwania zdarzeń w przeszłości, jak również korelację zapisów pochodzących z różnych archiwów. Konstrukcja takiej skali nie jest zadaniem trywialnym, nie istnieją też gotowe, kompletnie przetestowane i uniwersalne metody jej tworzenia (np. Parnell i in. 2011). Proces ten wymaga zawsze ścisłej współpracy przyrodników i specjalistów wykonujących datowanie. Strategia prac nad datowaniem i konstrukcją bezwzględnej chronologii kalendarzowej musi być dostosowana do określonej sytuacji, zależnie od charakteru i składu osadu, przedziału czasu, jaki obejmuje badany rdzeń, oraz dostępności materiału do badań. Nie bez znaczenia są również ograniczenia czasowe trwania danego projektu oraz przeznaczone na datowanie środki finansowe.

W wielu prowadzonych obecnie projektach nacisk kładziony jest na rekonstrukcje środowiskowe o wysokiej rozdzielczości, tymczasem gęste opróbowanie materiału nie jest jedynym warunkiem, jaki musi zostać spełniony, aby ową wysoką rozdzielczość uzyskać. Pamiętać należy również o możliwie dokładnym datowaniu badanego osadu i metodzie konstrukcji skali czasu, która zawsze będzie obciążona niepewnością. W przypadku typowego holocenijskiego osadu niepewność pojedynczych wyników datowania ^{14}C , po ich kalibracji, zawierać będzie się w przedziale od 30-50 do 100-200 lat, a w skrajnych przypadkach nawet więcej. Uwzględnienie jednak stratygraficznego położenia próbek podczas konstrukcji skali czasu i odpowiednie narzędzia statystyczne pozwalają często na znaczne zmniejszenie niepewności wieku danej warstwy, do przeciętnie kilkudziesięciu lat. Bardzo istotny jest wniosek płynący z wielu dyskusji i przykładów istniejących modeli wiek-głębokość, iż precyzja skali czasu silnie zależy od liczby i jakości posiadanych informacji chronologicznych, na przykład dat ^{14}C . Ogólnie można stwierdzić, że im więcej takich informacji, tym dokładniejszy osiąga się wynik końcowy. W przypadku osadów jeziornych i serii

kilkudziesięciu dat ^{14}C precyzję modelu wieku porównać można z precyzją warwochronologii lub chronologii rdzeni lodowych (ok. 100 lat dla dat z początku holocenu) (Hajdas i Michczyński 2010). Datowanie danego stanowiska wieloma metodami także pozwala znacząco poprawić wiarygodność i dokładność modelu wieku (np. Enters i in. 2006, Kinder i in. 2013 (A.4)).

Zagadnienia dotyczące metodyki konstrukcji skal czasu, inaczej – opracowania modeli wiek-głębokość, są od kilkunastu lat szeroko dyskutowane wśród naukowców zajmujących się rekonstrukcją zmian klimatu oraz wykonujących datowanie (np. Telford i in. 2004a, Yeloff i in. 2006, Blaauw 2010, Parnell i in. 2011). Zostało opublikowanych wiele modeli wiek-głębokość opracowanych dla poszczególnych stanowisk (np. Enters i in. 2006, Blockley i in. 2007, Tudyka i Pazdur 2010, Grimm 2011) oraz metodycznych prac statystycznych (np. Bennett 1994, Solow 2003, Haslett i Parnell 2008, Blaauw i Christen 2005 i 2011).

Model wiek-głębokość otrzymany na podstawie metod datowania powinien umożliwić przypisanie wieku wraz z niepewnością dla dowolnej warstwy osadu w badanym profilu, także dla tych znajdujących się poza bezpośrednio datowanymi poziomami. Wykorzystywano do tego celu często początkowo proste modele: liniowej interpolacji, regresji wielomianowej lub funkcji sklepanych. Główne wady tego rozwiązania to założenie, że tempo sedymentacji jest stałe lub można je opisać matematycznym równaniem (czasem bardzo prostym), co nieczęsto odzwierciedla rzeczywiste warunki powstawania osadów. Z drugiej jednak strony dla niektórych przypadków takie przybliżenie jest wystarczająco poprawne (Blaauw 2010). Inne ograniczenia najprostszych narzędzi statystycznych to nie uwzględnienie cech takich jak zmienność szybkości sedymentacji pomiędzy datowanymi poziomami lub miąższość datowanych próbek, która zwłaszcza przy powolnej sedymentacji może obejmować okres większy od niepewności uzyskanej daty radiowęglowej. Do modelowania zależności wieku od głębokości poziomu, z którego pochodzi badana próbka na podstawie datowania radiowęglowego zostały również zastosowane inne, bardziej zaawansowane metody matematyczne, takie jak regresja rozmyta (Boreux i in., 1997), dopasowanie krzywych Beziera (Bennett i Fuller, 2002), metoda wiggle-matching (Blaauw i in. 2003), regresja mieszana (Heegaard i in. 2005), analiza krzywizny modelu (Walanus 2008), model dowolnego kształtu (Goslar i in. 2009), czy nieparametryczna metoda randomizacji (Hercman i in. 2014).

Niektóre ze stosowanych metod wymagają użycia estymatora punktowego wieku kalendarzowego, przez co traci się pełną informację o rozkładzie prawdopodobieństwa tego wieku. Wybór estymatora jest zawsze kompromisem i każda z możliwych do użycia wartości (średnia, mediana, punkt centralny rozkładu) prowadzić może do nieprawidłowości (Telford i in. 2004b, Michczyński 2007). Ograniczenia tego są pozbawione narzędzia wykorzystujące twierdzenie Bayesa, które poddają analizie całość rozkładów prawdopodobieństwa wieków kalendarzowych. Działają tak dwa najbardziej w tej chwili popularne, łatwo dostępne i jednocześnie, w mojej opinii, przyjaźnie dla użytkownika skonstruowane narzędzia – *OxCal* (Bronk Ramsey 2008) i *Bacon* (Blaauw i Christen 2011), a także nie stosowany powszechnie program *Bchron* (Haslett i Parnell 2008).

Algorytmy każdego ze stosowanych przeze mnie programów (*OxCal*, *Bacon*, *Clam*) opierają się na specyficznych założeniach i posiadają swoiste ograniczenia, które w zastosowaniu do przypadku

konkretnego typu osadu i stanowiska utrudniają lub przeciwnie, bardzo pomagają w opracowaniu ciągłej skali czasu. Każdy z nich pozwala na włączanie do analizy różnorodnych danych o wieku warstw osadu, jak wyników datowania innymi metodami (np. ^{210}Pb , ^{137}Cs , OSL). Często wprowadza się też datę poboru rdzenia przypisując jej głębokość 0 cm. Czasami istnieje konieczność uwzględnienia innych istotnych informacji, na przykład o wieku rezerwuarowym datowanych próbek. Jako wynik pracy programu otrzymujemy model wiek-głębokość z zadaną rozdzielczością na skali głębokości w postaci graficznej oraz tabelarycznej, wraz z niepewnościami. Nadmienić należy również, iż narzędzia te są udostępniane za darmo i poddawane stałemu rozwojowi przez ich twórców. Praktycznie co kilka lat ukazują się ich nowe wersje, a jeszcze częściej są wprowadzane drobniejsze poprawki, które na bieżąco śledzę i stosuję w swojej pracy.

Poniżej przedstawiłam krótki opis charakterystycznych cech trzech programów, które stosowałam do modelowania kalendarzowych skal czasu. Otrzymane przy ich pomocy wyniki przedstawia również Rycina 2, na której pokazałam modele wieku dla osadów Jeziora Suminko. Dla tego konkretnego przypadku, gdy daty radiowęglowe są dość równomiernie rozłożone, nie wykazują inwersji wieku, a sedimentacja zachodziła z względnie stałą szybkością i bez hiatusów, w zasadzie każdy z algorytmów wygeneruje bardzo podobny wynik.

2.3.1.1. PROGRAM OxCal – FUNKCJA *P_Sequence* (BRONK RAMSEY 2008)

W algorytmie funkcji *P_Sequence* założono, że proces sedimentacji osadu może być opisany jako proces Poissonowski, w którym zdarzenia depozycji są losowe. Algorytm ten wymaga podania parametru „k” określającego liczbę postulowanych zdarzeń depozycyjnych na jednostkę miary głębokości – im mniejsza wartość tego parametru, tym większe mogą być fluktuacje szybkości sedimentacji, która przy wysokich wartościach „k” jest praktycznie stała. Ponieważ jego arbitralne określenie często jest trudne, niedawno umożliwiono założenie jego zmienności w określonym zakresie (Bronk Ramsey i Lee 2013).

Program *OxCal* umożliwia również wytypowanie miejsc, gdzie z powodu zmiany charakteru osadu zmieniać się może szybkość sedimentacji (funkcja *Boundary*). Analiza przeprowadzana jest z użyciem symulacji Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Pewnym ograniczeniem funkcji *P_Sequence*, które często spotykałam, jest stosunkowo duża wrażliwość na wyniki odbiegające od głównego trendu modelu, co objawia się nieprawidłowymi wartościami parametrów diagnostycznych (tzw. współczynników zgodności). Uzyskanie akceptowalnych wartości często wiąże się z odrzuceniem jednego lub kilku wyników datowania, co czasami jest decyzją, którą trudno uzasadnić z merytorycznego punktu widzenia. Zauważyć można też, że szybkość sedimentacji obliczona na podstawie modelu *P_Sequence* zmienia się skokowo na datowanych poziomach i granicach (*Boundaries*), a między nimi jest w dużej mierze stała, co w istocie w warunkach środowiskowych nie jest zjawiskiem naturalnym.

2.3.1.2. PROGRAM BACON (BLAAUW I CHRISTEN 2011)

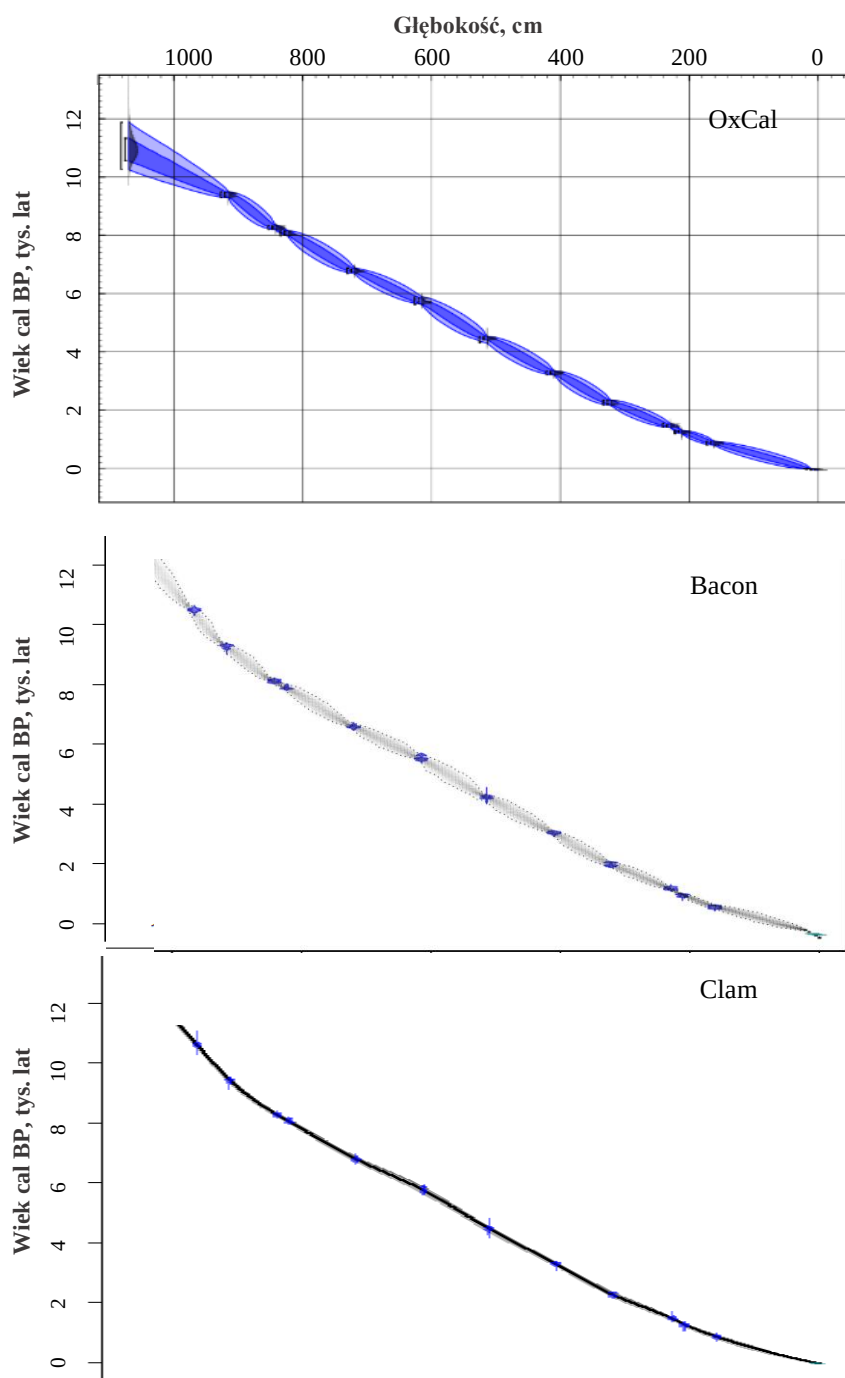
Algorytm stosowany w programie *Bacon* nie modeluje bezpośrednio zależności wieku od głębokości, lecz poprzez tysiące symulacji MCMC szacuje czas osadzania się cienkiej warstwy osadu, na które to warstwy (domyślnie: 5-centymetrowe) zostaje podzielony badany obiekt. Jako parametry *a priori* podaje się

zakładaną szacowaną szybkość sedymentacji oraz tzw. pamięć, która definiuje, jak bardzo szybkość sedymentacji danej warstwy zależy od jej wartości dla poprzedniej warstwy. Niski parametr pamięci implikuje założenie, że warunki sedymentacji pozwalały na dużą zmienność jej szybkości, i na odwrót. Obydwa parametry analizy zadawane są nie jako określone wartości, lecz w postaci niesymetrycznych rozkładów statystycznych. W większości przypadków program pozwala na uwzględnienie nawet nieco odstających wyników w modelu wiek-głębokość, a dzięki jego algorytmowi wyniki bardzo odstające są ignorowane w ostatecznym modelu. Przy właściwym doborze parametrów modelu uzyskiwana szybkość sedymentacji jest zmienna i zawiera się w rozsądnych granicach, które wydają się naturalne, a model wiek-głębokość ma relatywnie gładki przebieg. Algorytmy programu są jednak bardzo wrażliwe na zmiany parametrów *a priori*, dlatego ich wybór powinien być dobrze przemyślany. Ostateczny wynik modelowania również powinien zostać poddany krytycznej ocenie, gdyż pomimo poprawnej diagnostyki statystycznej może prowadzić do bardzo mylących wniosków (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2014a; A.5).

Poza konstrukcją skali czasu program *Bacon* umożliwia wykreślenie wyników analiz paleośrodowiskowych w postaci rycin w skali szarości obrazującej niepewności wynikające z modelu wieku (np. Brizova i in. 2012; Ryc. 8). Program został znacznie ulepszony w 2013 roku, kiedy to autorzy wprowadzili m.in. możliwość dodania informacji o hiatusach, przeliczanie koncentracji danego wskaźnika (np. koncentracji pyłku) na jego strumień (np. liczbę ziaren pyłku deponowaną w czasie roku na 1 cm² powierzchni) i sporo innych możliwości wykorzystywania i przedstawiania informacji z analizy (Blaauw i Christen 2013).

2.3.1.3. PROGRAM CLAM (BLAAUW 2010)

Najprostszy program do „klasycznego” modelowania zależności wieku od głębokości pozwala wybierać między kilkoma typami interpolacji: liniową dla całego rdzenia, liniową między datowanymi poziomami, wielomianami wyższego rzędu i funkcjami sklejanymi. Algorytm polega na wielokrotnym (domyślnie 1000 razy) przeprowadzeniu zadanej linii przez punkty należące do rozkładów prawdopodobieństwa wieków kalendarzowych, odrzuceniu wyników zawierających inwersję wieku i obliczeniu wieku każdej warstwy jako średniej ważonej. Podobnie jak program *Bacon*, program *Clam* umożliwia bezpośrednie wykreślenie wskaźników środowiskowych na skali czasu wraz z niepewnościami wieku. Program ten pozwala na uzyskanie zadowalającego wyniku modelowania przede wszystkim w przypadku, gdy daty nie wykazują inwersji, są rozłożone w stosunkowo równych odległościach i gdy zaawansowana analiza bayesowska nie wniosłaby w zasadzie żadnego ulepszenia dla modelowania skali czasu. Oczywistym kompromisem jest tu konieczność stosowania estymatora punktowego, o czym wspomniałam powyżej.



Ryc. 2. Poglądowe porównanie modeli wieku uzyskanych dla tych samych dat radiowęglowych makroszczątków pochodzenia roślinnego z osadów Jeziora Suminko (Pędziszewska i in. 2015) przy użyciu trzech różnych narzędzi. Wyniki kalibracji dat ^{14}C przedstawione są jako rozkłady prawdopodobieństwa kolorem czarnym (OxCal) lub niebieskim (Bacon, Clam). Przedziały niepewności modelowanego wieku zaznaczone jako obszary niebieskie (OxCal) lub szare (Bacon, Clam).

2.3.2. OMÓWIENIE PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA

Datowanie radiowęglowe AMS i modelowanie kalendarzowych skal czasu dla osadów torfowych i jeziornych jako podstawa wieloskaźnikowych rekonstrukcji zmian środowiska w przeszłości.

Wybrane przeze mnie publikacje wchodzące w skład powyższego osiągnięcia ukazują złożoność procesu opracowania kalendarzowych skal czasu oraz wszystkie jego etapy, którymi zajmuję się w swojej pracy naukowej: począwszy od odpowiedniego poboru, selekcji i preparatyki próbek przeznaczonych do datowania, poprzez pomiary koncentracji izotopu ^{14}C , aż po analizy statystyczne tych wyników wykonywane przy użyciu różnych narzędzi. Lista publikacji obejmuje siedem pozycji, z których pierwsze trzy mają charakter metodyczny (A.1–A.3), kolejne dwie dotyczą zagadnień związanych z krytyczną oceną skonstruowanych skal czasu i ich udoskonalaniem (A.4–A.5), a następne dwie to przykładowe prace ukazujące zastosowania skonstruowanych przez mnie chronologii (A.6–A.7). Poza pierwszą pozycją wszystkie pozostałe są publikacjami wieloautorskimi, tworzonymi przez 4 do 12 autorów. Wynika to z faktu, iż prowadzone przeze mnie prace są zazwyczaj częścią większych projektów obejmujących często badania wieloskaźnikowe, wymagające ogromnego nakładu pracy, począwszy od poboru materiału, przez opróbowanie i wykonanie poszczególnych analiz, aż do zespołowych dyskusji nad interpretacją uzyskanych wyników. Uwzględnieniu we współautorstwie podlega zatem wiele osób, co wedle mojej opinii prowadzi do powstania publikacji bogatych w treść i nowatorskich, niemniej jednak oszacowanie udziału procentowego danego autora nie jest zadaniem prostym.

W załączniku 3 (pkt. 3.1) znajdują się dane bibliometryczne publikacji oraz szczegółowy opis mojego wkładu w ich powstanie wraz z oszacowaniem udziału procentowego. Odbitki prac wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego znajdują się w Załączniku nr 5, wraz z oświadczeniami współautorów o wkładzie w powstanie publikacji.

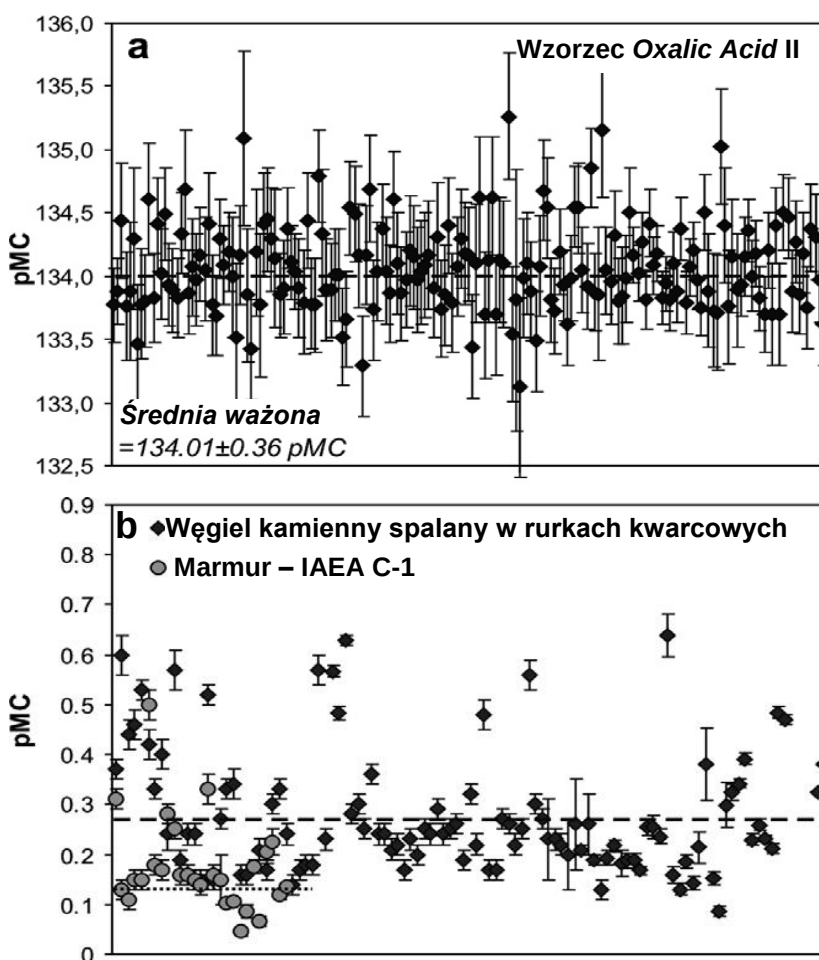
- A.1. **Piotrowska Natalia**, 2013. Status report of AMS sample preparation laboratory at GADAM Centre, Gliwice, Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 294, 176–181.
IF czasopisma: 1,186; Liczba cytowań: 12 (WoS), 14 (Google Scholar)

Praca metodyczna, stanowiąca podsumowanie 10-letniej działalności Pracowni AMS w Gliwicach, której pracami kieruję od 2001 roku. Zawiera opis aktualnie stosowanych procedur preparatyki próbek, stan sprzętu używanego w pracowni, a także udoskonaleń i rozwoju ukierunkowanych głównie na zwiększenie przepustowości do ok. 450 próbek/rok, zmniejszenie nakładu pracy i dostosowania do potrzeb bieżących projektów.

Najważniejszym moim osiągnięciem przedstawionym w tej pracy jest demonstracja wieloletniej wiarygodności i wysokiej precyzji uzyskiwanych wyników datowania. Wnioskować o tym można na podstawie wyników uzyskiwanych dla próbek wzorcowych, tutaj potraktowanych jako wskaźniki jakości. Przede wszystkim dotyczy to oznaczeń ^{14}C dla standardu współczesnej biosfery (kwasu szczawiowego *Oxalic Acid II*, produkcji NIST - *National Institute of Standards and Technology*, USA), z którego grafit był

przygotowywany w Pracowni AMS. Uzyskane wyniki są stabilne w czasie, a ich średnia ważona wynosi $134,01 \pm 0,36$ pMC, dla wszystkich wyników z 10-letniego okresu (Ryc. 3a).

Koncentracja radiowęglu w graficie wytworzonym z materiału, który oryginalnie nie zawiera izotopu ^{14}C , stanowi tzw. tło preparatyki i pomiarów dla próbek organicznych (węgiel kamienny) lub węglanowych (marmur IAEA C-1). Wartości tej koncentracji idealnie powinny dawać wiek bliski zasięgowi metody radiowęglowej (50 tys. lat). Uzyskane przez mnie wyniki wykazują pewien rozrzut, co pewien czas pojawiają się bowiem liczby wyraźnie odstające od typowego poziomu. Jest to najprawdopodobniej spowodowane niejednorodnością stosowanego jako wzorzec naturalnego materiału (Ryc. 3b). Jednakże średnia wartość tła dla próbek organicznych jest utrzymywana na stałym poziomie $0,271 \pm 0,015$ pMC (średnia ważona), odpowiadającemu wiekowi ok. 47,5 tys. lat BP i $0,131 \pm 0,011$ pMC dla marmuru IAEA C-1 (Ryc. 3b), co praktycznie odpowiada zasięgowi metody ^{14}C . Taki poziom tła umożliwia rutynowe datowanie radiowęglowe z należytą dokładnością, szczególnie dla próbek holocenów, które stanowią większość próbek badanych w Pracowni AMS w Gliwicach.



Ryc. 3 Zebrane przez 10 lat wyniki pomiarów koncentracji izotopu ^{14}C w próbkach wzorca współczesnej biosfery (a - Oxalic Acid II) oraz tła (b - węgla kamiennego i marmuru; Piotrowska 2013(A.1)). Średnie ważne zaznaczono liniami przerywanymi.

- A.2. **Piotrowska Natalia**, Blaauw Maarten, Mauquoy Dmitri, Chambers Frank M., 2011. Constructing deposition chronologies for peat deposits using radiocarbon dating. *Mires and Peat* [online, open-access] 2011, vol. 7, art. 10, 1-14.

IF czasopisma: -; Liczba cytowań: - (WoS), 38 (Google Scholar)

Praca metodyczna i przeglądowa, opisująca wszystkie etapy datowania radiowęglowego próbek osadów torfowych. W publikacji opisałam fizyczne podstawy metody radiowęglowej, zostały też przedstawione zagadnienia separacji odpowiedniej frakcji torfu do datowania ^{14}C . Opisałam preparatykę próbek i proces wyznaczania wieku ^{14}C przy pomocy różnych technik, jak również kalibrację wyników i konstrukcję skal czasu przy pomocy narzędzi statystycznych, zilustrowaną przykładem. Jako podsumowanie w pracy tej zawarłam praktyczne rekomendacje dotyczące przebiegu procesu datowania próbek osadów torfowych, mające stanowić instrukcję postępowania przede wszystkim dla młodych naukowców. Publikację przygotowałam we współpracy z osobami uznanymi za ekspertów w swoich dziedzinach w środowisku naukowym zajmującym się badaniami torfów. Są to dr Maarten Blaauw (m.in. statystyka, modelowanie wiek-głębokość), dr Dmitri Mauquoy (m.in. rekonstrukcje środowiska na podstawie składu makroszczątków roślinnych) i prof. Frank Chambers (m.in. stratygrafia i własności osadów torfowych jako wskaźniki zmian klimatu; członek rady wydawniczej uznanego czasopisma *The Holocene*).

Artykuł został opublikowany w recenzowanym czasopiśmie o otwartym dostępie spoza listy JCR, jako jedna z 13 prac ze specjalnego tomu poświęconego przeglądowi metod stosowanych w rekonstrukcjach paleośrodowiska na podstawie badań osadów torfowych. Za swoje osiągnięcie uważam zaproszenie mnie, jako eksperta zajmującego się datowaniem ^{14}C , do przygotowania tej przeglądowej publikacji przez pomysłodawców i redaktorów tomu (François De Vleeschouwer, Paul Hughes, Jonathan Nichols i Frank Chambers).

Praca ta stanowi również pokłosie projektu Marie Curie Actions, finansowanego w ramach 6 Programu Ramowego Unii Europejskiej o akronimie ATIS (*Absolute Time scales and Isotope Studies for investigating events in Earth and human history*, "Bezwzględne skale czasu i badania izotopowe dla badań zdarzeń w historii Ziemi i człowieka"). Udział w nim pozwolił mi na nawiązanie istotnych dla mojego naukowego postępu kontaktów i znaczący rozwój mojej współpracy międzynarodowej.

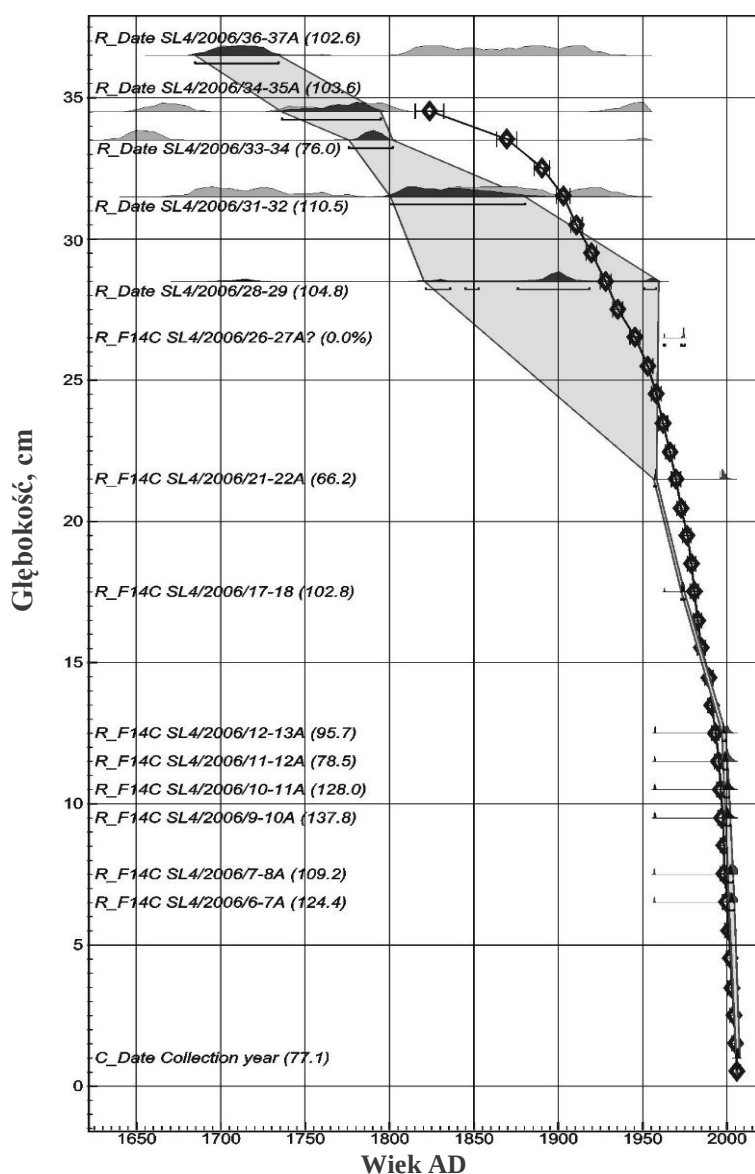
- A.3. **Piotrowska Natalia**, De Vleeschouwer François, Sikorski Jarosław, Pawlyta Jacek, Fagel Nathalie, Le Roux Gaël, Pazdur Anna, 2010. Intercomparison of radiocarbon bomb pulse and ^{210}Pb age models. A study in a peat bog core from North Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 268(7-8): 1163-1166.

IF czasopisma: 1,042; Liczba cytowań: 8 (WoS), 14 (Google Scholar)

Praca metodyczna, w której przedstawiłam porównanie wyników datowania najmłodszej części osadów torfowiska Słowińskie Błota (ok. 150 lat) przy pomocy metody radiowęglowej oraz izotopu ołowiu ^{210}Pb . Do datowania ^{14}C zostały wybrane szczątki mchów torfowców (*Sphagnum*) lub inny zidentyfikowany botanicznie materiał. Na podstawie wyników datowania 14 takich próbek zbudowałam model wieku przy pomocy programu *OxCal* i funkcji *P_Sequence*. Następnie porównałam uzyskane z modelu wieki z

wynikami uzyskanymi przy pomocy datowania ^{210}Pb i modelu CRS (*Constant Rate of Supply* = stałe tempo dostawy; Ryc. 4).

Porównując wartości średnie zaobserwowałam, że dla najmłodszej części rdzenia (do ok. 14 cm) występuje wysoka zgodność wyników, dla próbek położonych głębiej (14-17,5 cm) różnice nie przekraczają kilkunastu lat, a dla najstarszej części wieki uzyskane na podstawie modelu *P_Sequence* są starsze nawet o 100 lat. Jednocześnie wieki ^{210}Pb nie zawierają się w zakresie niepewności modelu *P_Sequence*. W dyskusji wyników przedstawiłam ograniczenia każdej z metod, które mogą być przyczyną rozbieżności oraz przyczyny naturalne i statystyczne. Pobrane próbki miały stosunkowo dużą miąższość (1 cm), która odpowiadała czasowi depozycji rzędu kilku lat dla stropowej części (do ok. 22 cm), lecz ok. 20 latom dla części głębszej. Obydwie testowane metody dawały zatem wynik średni dla pewnej warstwy i datowały inne materiały – ^{210}Pb związany jest z cząstkami opadającymi z atmosfery, ^{14}C natomiast z żyjącymi roślinami.



Ryc. 4. Porównanie wyników datowania ^{14}C i ^{210}Pb osadów z torfowiska Słowińskie Błoto.

Rozkłady prawdopodobieństwa wieku kalendarzowego uzyskane dla dat ^{14}C : jasnoszary dla rozkładów bez modelowania, ciemnoszary dla rozkładów po modelowaniu. Wyniki datowania ^{210}Pb (model CRS): czarne romby. Kalibracja wykonywana z modelem *P_Sequence* ($k = 1/\text{cm}$). Data z głębokości 26,5 cm, została wykluczona z modelu wieku, co prowadzi do współczynnika zgodności $A = 95\%$. Rysunek z pracy (A.3) Piotrowska i in. (2010).

Okazało się, że dla badanego przypadku rozstrzygnięcie problemu nie jest jednoznacznie możliwe przede wszystkim z powodu istnienia niejednoznaczności (tzw. *wiggles*) w krzywej kalibracyjnej. Zastosowanie procedury tzw. *wiggle-matching* nie było niestety możliwe z powodu zbyt ubogiej liczby dat

¹⁴C. Oszacowane przez mnie na podstawie obydwu metod datowania średnie szybkości sedymentacji są jednak zgodne ze sobą.

Praca powstała w ramach projektu ATIS, w czasie którego dr De Vleeschouwer przebywał na stażu w Laboratorium Radiowęglowym w Gliwicach przez 7 miesięcy. Model wieku oparty na wynikach ²¹⁰Pb połączonych z wynikami ¹⁴C dyskutowany w tej pracy zastosowany został, po uzupełnieniach, w dwóch publikacjach (De Vleeschouwer i in. 2009a (praca A.6) i 2009b).

A.4. Kinder Małgorzata, Tylmann Wojciech, Enters Dirk, **Piotrowska Natalia**, Poręba Grzegorz, Zolitschka Bernd, 2013. Construction and validation of calendar-year time scale for annually laminated sediments - an example from Lake Szurpiły (NE Poland). *GFF - journal of the Geological Society of Sweden* 135, 248-257.

IF czasopisma: 0,707; Liczba cytowań: 6 (WoS), 8 (Google Scholar)

Praca opisująca konstrukcję skali czasu dla osadów Jeziora Szurpiły z Pojezierza Suwalskiego za ostatnie 8410 lat. Osady te wykazują w dużej części roczną laminację, która jednak nie jest ciągła z powodu występowania turbidytów oraz masywnych warstw piasku. Utrudnieniem dla konstrukcji chronologii warwowej była też nieregularność grubości lamin oraz słaba widoczność granic między nimi w niektórych zakresach głębokości. Dlatego poziomy osadu opróbowane w celu datowania ¹⁴C zostały starannie wytypowane tak, aby wyniki datowania były komplementarne do chronologii warwowej i umożliwiły jej weryfikację.

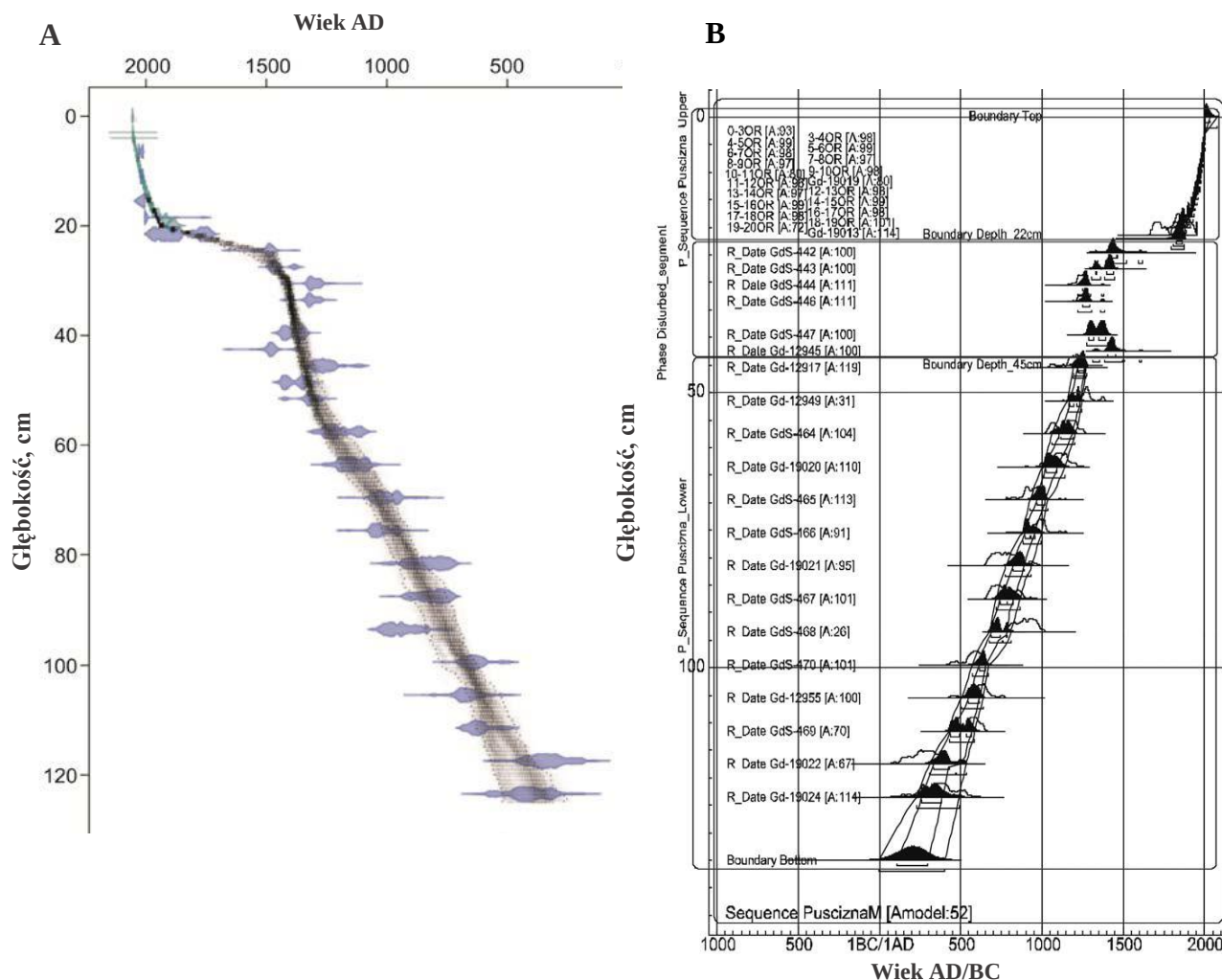
W ramach kierowanego przez mnie projektu finansowanego przez NCN oraz innych projektów wykonałam datowanie radiowęglowe AMS 20 próbek makroszczątków pochodzenia lądowego z badanego rdzenia, z czego 14 wyników zostało zawartych w omawianej publikacji. Wykonałam następnie kalibrację uzyskanych dat radiowęglowych oraz modelowanie wiek-głębokość. Opracowując wyniki używałam kilku narzędzi i stosowałam różne założenia co do modelowania, we współpracy z główną autorką artykułu. Powodem podjęcia tak wnikliwej analizy był fakt, że porównanie z chronologią warwową wykazywało spore niezgodności obu modeli. Przeprowadzone przez współautorów prace nad weryfikacją i udoskonaleniem chronologii warwowej, która ostatecznie została porównana z wynikami datowania nie tylko ¹⁴C, ale również ²¹⁰Pb i ¹³⁷Cs, pozwoliły na kontrolę i poprawę pierwotnie opracowanej skali czasu.

W efekcie poprawiona chronologia warwowa, który zawiera częściowo zachowane warwy znajdujące się poniżej warstw masywnych została uznana za bardziej dokładną i bardziej zgodną z wynikami datowania radiowęglowego. Pięć dat ¹⁴C ze stropowej partii rdzenia potwierdza doskonale ostateczną warwochronologię. Od 3 do 6 m głębokości, trzy wyniki datowania radiowęglowego są nieco starsze w porównaniu do chronologii warwowej, ale dla spągowej części profilu ponownie występuje spójność obu metod. Praca ta podkreśla znaczenie datowania osadów wieloma metodami, które uzupełniają się wzajemnie tak, aby uzyskana skala czasu była jak najbardziej wiarygodna.

A.5. Fiałkiewicz–Kozieł Barbara, Kołaczek Piotr, **Piotrowska Natalia**, Michczyński Adam, Łokas Edyta, Wachniew Przemysław, Woszczyk Michał, Sensuła Barbara, 2014. High resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies. *Radiocarbon* 56, 109-125.

IF czasopisma: 2,228; Liczba cytowań: 3 (WoS), 7 (Google Scholar)

Praca dotyczy problemu konstrukcji skali czasu dla osadów torfowiska Puścizna Mała położonego w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej. Chronologia badanego osadu sięga prawie 2000 lat wstecz i oparta została na datowaniu radiowęglowym 26 próbek materii organicznej oraz 18 wynikach pomiarów koncentracji ^{210}Pb dla stropowego odcinka osadu. Początkowe wyniki modelowania wiek-głębokość, które wykonałam przy użyciu programu Bacon (Ryc. 5A) wydawały się zadowalające ze statystycznego punktu widzenia, aczkolwiek dla przedziału 22-45cm model wykazał niezwykle dużą dokładność (ok. 50 lat) i dużą zmianę szybkości narastania torfu. Fragment o najwyższej szybkości akumulacji wg modelu wieku (2mm/rok, 1300-1400 AD) nie pokrywał się jednak z fragmentem o największym stopniu rozkładu wedle litologii. Co więcej, konfrontacja z danymi palinologicznymi wykazała, że drastyczny zanik lasów datowany na 1280-1340 AD



Ryc. 5. Modele wieku uzyskane dla osadów torfowiska Puścizna Mała przy użyciu programu Bacon (A) oraz OxCal (B, aut. A. Michczyński). Wyniki kalibracji dat ^{14}C przedstawione są jako rozkłady prawdopodobieństwa kolorem niebieskim (A) lub czarnym (B), przedziały niepewności modelowanego wieku zaznaczone jako obszar w skali szarości (A) lub ograniczony ciągłymi czarnymi liniami (B).

(głębokość w badanym rdzeniu osadów ok. 40cm) jest niewytłumaczalny w świetle danych historycznych, jak również na występowanie innych niezgodności.

Po wnikliwej analizie otrzymanego modelu w porównaniu z wynikami palinologicznymi oraz pomiarów gęstości, zawartości popiołu i analizy pierwiastkowej CNS wybrana została inna metoda konstrukcji modelu wieku w programie *OxCal* (Ryc. 5B), w której założono, że warstwa 22-45cm jest zaburzona. W czasie, gdy model był tworzony, program *Bacon* nie miał możliwości numerycznego uwzględnienia takiej informacji w obliczeniach. Najbardziej prawdopodobną przyczyną takiego zaburzenia jest działalność ludzi, którzy w przypuszczalnie w XIX wieku wydobywali torf z badanego stanowiska.

Omawiana praca podkreśla znaczenie krytycznego podejścia do wyników uzyskanych po analizie statystycznej w świetle innych badań oraz konieczność ścisłej współpracy naukowców wykonujących datowanie i badania geochemiczne oraz paleoekologiczne.

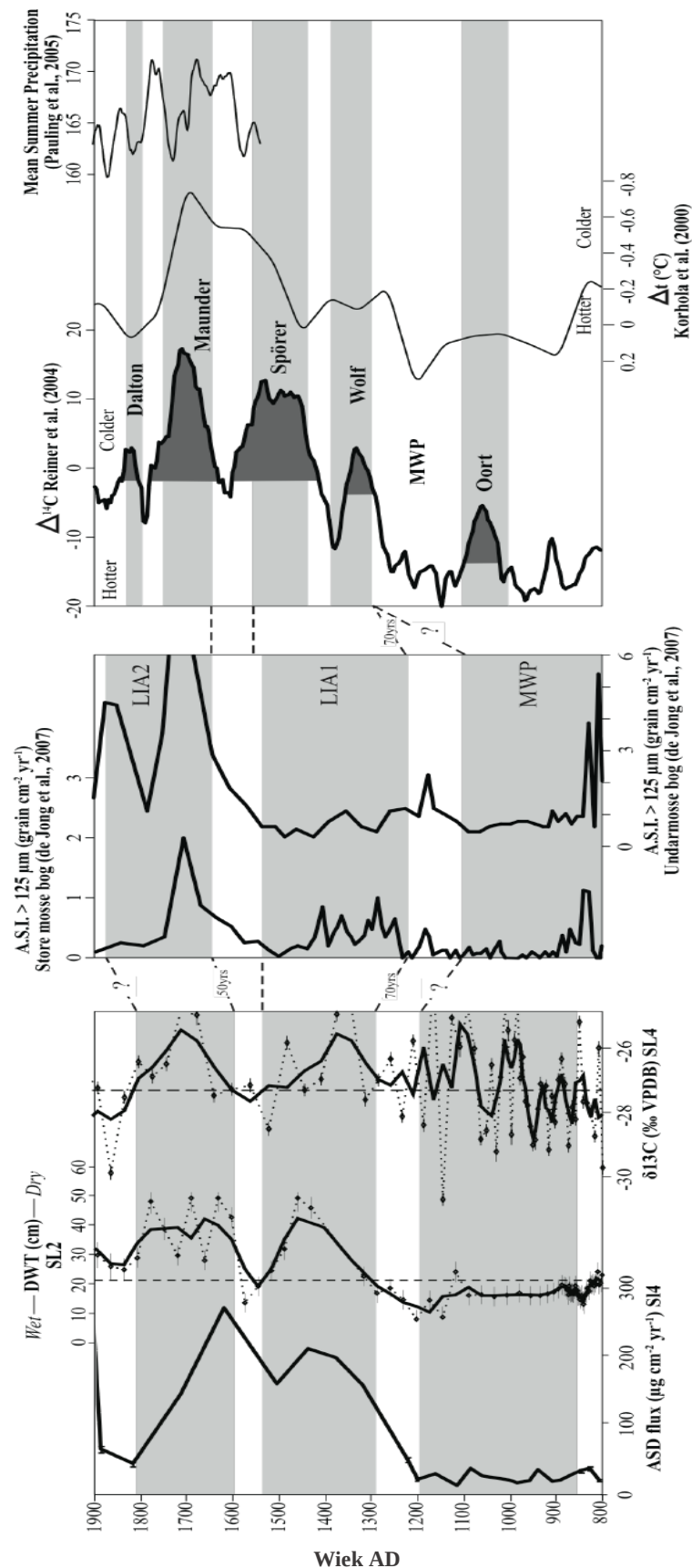
A.6. De Vleeschouwer François, **Piotrowska Natalia**, Sikorski Jarosław, Pawlyta Jacek, Cheburkin Andriy, Le Roux Gaël, Lamentowicz Mariusz, Fagel Nathalie, Mauquoy Dmitri, 2009. Multiproxy evidences of Little Ice Age palaeoenvironmental changes in a peat bog from northern Poland. *The Holocene* 19,4: 625-637.

IF czasopisma: 2,481; Liczba cytowań: 30 (WoS), 43 (Google Scholar)

Praca przedstawia wyniki wielowskaźnikowych analiz 1-metrowego rdzenia osadów z torfowiska typu bałtyckiego Słowińskie Błota, sięgające wieku ok. 700 AD. Okolice tego torfowiska zostały wylesione około roku 1100 AD i dlatego stanowi ono stanowisko kluczowe dla badania zmian klimatycznych podczas Małej Epoki Lodowej. Zmiany te, zapisane w tym ombrofitycznym torfowisku zostały zrekonstruowane za pomocą metod geochemii nieorganicznej, analiz makroszczątków roślinnych oraz izotopów stabilnych węgla i są w dobrej zgodności z innymi zapisami z Polski i Europy.

Praca zawiera unikalny w skali Europy zapis Małej Epoki Lodowej we wskaźniku zwanym strumieniem pyłu atmosferycznego (z ang. *ASD – Atmospheric Dust Flux*). Do obliczania wskaźnika ASD niezbędna były wartości koncentracji Ti i gęstości objętościowej oraz ciągły model wiek-głębokość. W modelu uwzględniłam wyniki datowania ^{14}C AMS uzyskane dla 8 próbek szczątków organicznych, głównie łądżyek mchów torfowców (*Sphagnum*), łądżyek wrzосу pospolitego (*Calluna vulgaris*), łądżyek i pędów wrzosa bagiennego (*Erica tetralix*) oraz liści modrzewnicy zwyczajnej (*Andromeda polifolia*). Jeżeli ilość tej materii była niewystarczająca do wykonania datowania, do preparatów włączano również fragmenty węgla drzewnych lub innych nasion. Model wiek-głębokość skonstruowałam na podstawie wyników datowania ^{210}Pb i pomiarów ^{14}C , jako rozszerzoną wersję wyników przedstawionych w pracy A.4 (Ryc. 4).

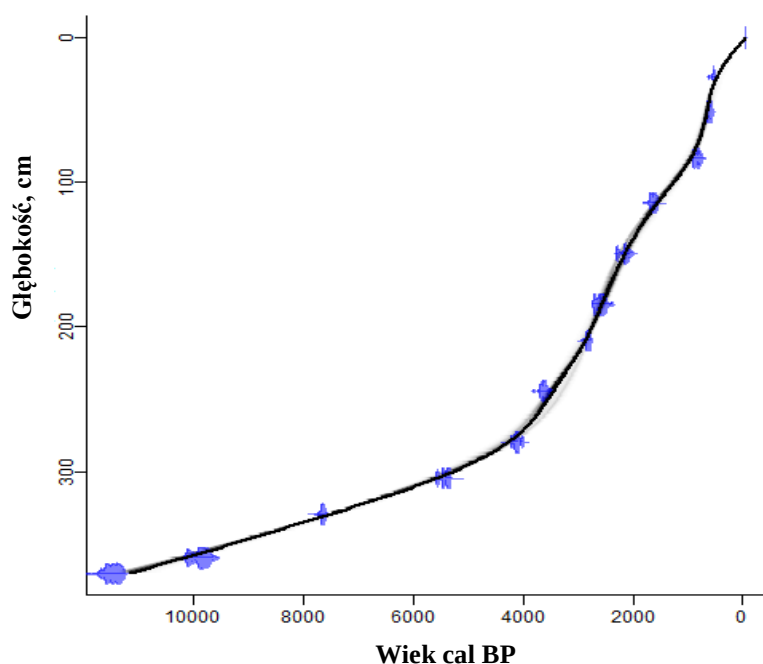
Wykreślenie badanych wskaźników na kalendarzowej skali czasu pozwoliło na porównanie zapisów z innymi stanowiskami oraz ze wskaźnikami globalnych zmian klimatu (Ryc. 6). Zaobserwowano również ok. 50-letnią rozbieżność pomiędzy rekordami z różnych miejsc, która jest prawdopodobna ze względu na zależny od czasu gradientu ochłodzenia z północy na południe Europy.



Ryc. 6 Strumień pyłu atmosferycznego, wilgotność powierzchni torfowiska określona na podstawie analizy ameb skorupkowych oraz $\delta^{13}\text{C}$ na skali czasu dla torfowiska Słowińskie Błoto. Surowe dane (linie kropkowane) i 3-punktowe średnie (ciągłe linie) oraz wartości średnie (linie przerywane) pokazane zostały dla wilgotności powierzchni oraz $\delta^{13}\text{C}$. Porównanie ze wskaźnikiem ASI (aeolian sediment influx) z dwóch sekwencji torfowych z południowej Szwecji (Store Mosse i Undarmosse, de Jong i in. 2007), krzywą $\Delta^{14}\text{C}$ (Reimer et al., 2004), krzywą anomalii temperaturowych (Korhola et al., 2002) oraz 50-letnią średnią wartości wielkości opadu w lecie dla Europy północnej (Pauling et al., 2005). Rycina pochodzi z pracy De Vleeschouwer et al. (2009a), patrz tamtejsze referencje.

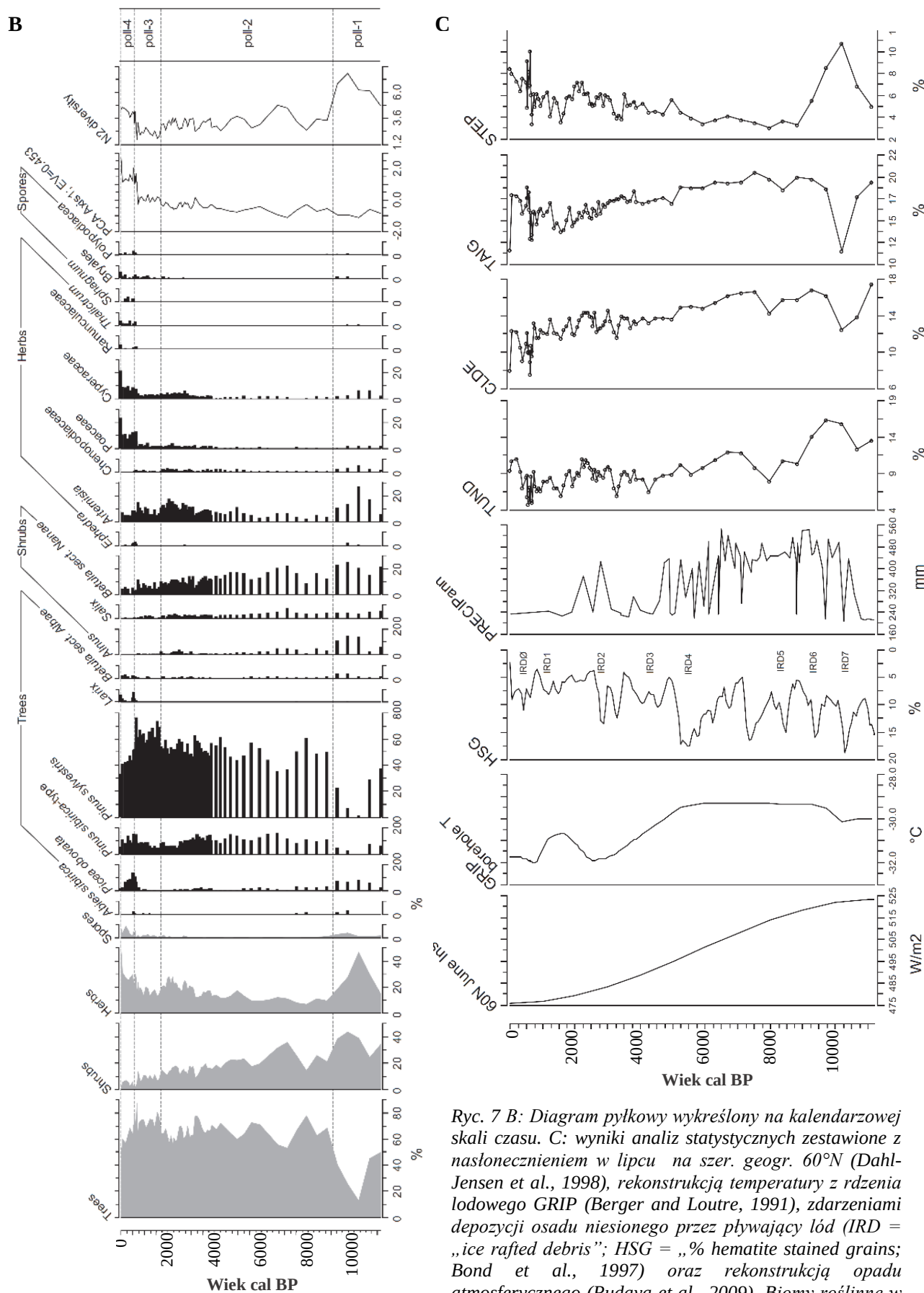
- A.7. Mackay Anson W., Bezrukova Elena V., Leng Melanie J., Meaney Miriam, Nunes Ana, **Piotrowska Natalia**, Self Angela, Shchetnikov Alexander, Shilland Ewan, Tarasov Pavel, Wang Luo, White Dustin, 2012. Aquatic ecosystem responses to Holocene climate change and biome development in boreal, central Asia. *Quaternary Science Reviews* 41, 119-131.
IF czasopisma: 4,076; Liczba cytowań: 13 (WoS), 14 (Google Scholar)

Współpraca z prof. Ansonem Mackay z Environmental Change Research Centre (Department of Geography, UCL, Londyn, Wielka Brytania), zapoczątkowana w projekcie CONTINENT zaowocowała kilkoma wspólnymi publikacjami, między innymi wyżej wymienioną, dotyczącą badania osadów jeziornych z jezior Syberii z pobliza Jeziora Bajkał. Praca ta zawiera interpretację wyników wielowskaźnikowych badań osadów z Jeziora ESM-1 (południowa Syberia), obejmujących okres ostatnich 12 000 lat. Wykonane zostały analizy zmienności gatunkowej pyłku roślinnego, ochotkowatych (*Chironomidae*) i okrzemek, a także pomiary geochemiczne ($\delta^{13}\text{C}$, %TOC, %TN). Konstrukcję modelu wieku przeprowadziłam z wykorzystaniem 13 wyników datowania radiowęglowego całości frakcji organicznej osadu, uwzględniając również informację o współczesnym wieku rezerwurowym wynoszącym 200 lat. Obliczenia dla skorygowanych o tę wartość wieków próbek wykonałam przy użyciu programu *Clam*, stosując interpolację funkcjami sklejanymi opartymi na wielomianach 3 stopnia (Ryc. 7A). Średnie ważone wieków uzyskanych dla poszczególnych głębokości stworzyły model wiek-głębokość, który został zastosowany do wykreślenia wszystkich diagramów i przeprowadzenia interpretacji wyników analiz na skali czasu (Ryc. 7 B i C).



Ryc. 7A Model wiek-głębokość dla osadów Jeziora ESM-1 uzyskany przy pomocy programu *Clam* (rycina z pracy Mackay i in. 2012).

Statystyczne opracowanie wyników za pomocą analiz wielowymiarowych umożliwiło ilościowe wyodrębnienie wpływu różnych zmiennych klimatycznych na krajobraz roślinności w badanym okresie czasu. Podobnie analizowany był wpływ klimatu oraz rozwoju poszczególnych biome (stepu, tundry, lasu liściastego i tajgi) w otoczeniu jeziora na organizmy wodne żyjące w jeziorze ESM-1.



2.4. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO - BADAWCZYCH

2.4.1. DOROBK I OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

W 1995 roku rozpoczęłam studia magisterskie na kierunku Fizyka Techniczna, na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej, a po trzech latach wybrałam specjalność Fizyka Środowiska. Będąc studentką czwartego roku studiów, w 1999 roku, wyjechałam na jeden z pierwszych na naszej uczelni staży w ramach programu Socrates-Erasmus i spędziłam 3 miesiące w *Laboratoire des Science du Climat et de l'Environnement* w Gif-sur-Yvette (Francja), gdzie po raz pierwszy zetknęłam się z zastosowaniem techniki AMS do datowania radiowęglowego, w szczególności do datowania kości kopalnych. Tematykę z tym związaną kontynuowałam po powrocie do Gliwic realizując pracę magisterską pt. „Preparatyka próbek kości do datowania radiowęglowego AMS”, której promotorem był prof. dr hab. inż. Tomasz Goslar, tworzący w tym czasie pierwsze w Polsce laboratorium preparatyki próbek do datowania ^{14}C przy pomocy techniki AMS. W ramach pracy magisterskiej zweryfikowałam różne metodyki preparatyki kości i opracowałam metodę odpowiednią dla warunków gliwickiego laboratorium. Wyniki tych badań opublikowałam (Piotrowska i Goslar 2002) już w trakcie studiów doktoranckich, które podjęłam w roku 2000.

Od początku studiów doktoranckich moje zainteresowania naukowe związane były głównie z datowaniem radiowęglowym AMS oraz badaniem izotopowym osadów jeziornych, które stosowałam w swojej pracy doktorskiej. Przez prof. dr hab. Annę Pazdur zostałam również wprowadzona w tematykę badań martwic wapiennych i brałam udział w opracowywaniu skal czasu (Pazdur i in. 2001a) oraz rekonstrukcji temperatury na podstawie badań izotopowych (Pazdur i in. 2001b) dla stanowisk z Polski i Indii.

Współpraca z prof. dr hab. Jackiem Rutkowskim z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie nad badaniami osadów Jeziora Wigry stanowiła podstawę części mojej pracy doktorskiej. Wiercenie wykonane w Zatoce Słupiańskiej w 2003 roku pozwoliło na uzyskanie materiału do badań paleośrodowiskowych i datowania ^{14}C . Podczas pobytu na stażu naukowym w Laboratorium Radiowęglowym AMS w *Eidgenossische Technische Hochschule* (ETH) w Zurychu wykonałam datowanie 20 próbek organicznych z rdzenia osadów Jeziora Wigry przy pomocy techniki AMS. Datowanie AMS wykonałam dla próbek różnorodnych szczątków organicznych, a w Laboratorium Radiowęglowym w Gliwicach zrealizowałam pomiary ^{14}C także dla frakcji węglanowej przy użyciu konwencjonalnej techniki gazowych liczników proporcjonalnych. Wyniki tych pomiarów umożliwiły konstrukcję pierwszej bezwzględnej skali czasu dla tego rdzenia (Piotrowska i Hajdas 2005), a w latach późniejszych zostały opublikowane w czasopiśmie *Radiocarbon* i w monografii Jeziora Wigry (Piotrowska i in. 2007, Piotrowska 2009). Ponadto brałam udział w pierwszych badaniach izotopowych Jeziora Wigry (Pawlyta i Piotrowska 2004, Pawlyta i in. 2004).

Drugą ważną częścią mojej pracy doktorskiej stanowiło datowanie osadów Jeziora Bajkał, wykonane w ramach międzynarodowego projektu badawczego CONTINENT („Wysokiej rozdzielczości zapis paleoklimatu kontynentalnego w osadach Jeziora Bajkał”), finansowanego w 5 Programie Ramowym UE, a

kierowanego przed prof. Hedi Oberhaensli z GeoForschungZentrum w Poczdamie (Niemcy). Pakietem pracy związanym z datowaniem osadów kierował promotor mojej pracy doktorskiej, prof. dr hab. inż. Andrzej Bluszcz. Osady jeziora Bajkał są niezwykle ubogie w materiał organiczny przydatny do datowania radiowęglowego, a jego większość stanowi materia autochtoniczna obciążona efektem rezerwuarowym. W związku z tym w projekcie CONTINENT konstrukcję skali chronologicznej późnego glacjału i holocenu postanowiono przeprowadzić na podstawie datowania radiowęglowego pyłku roślin wyseparowanego z osadu we współpracy z palinologami. Datowanie ^{14}C pyłku wykonałam dla 3 stanowisk z Jeziora Bajkał (Piotrowska i in. 2004a), a uzyskane skale czasu stały się podstawą wielu publikacji projektowych (np. Boës i in. 2005). Nawiązane w projekcie CONTINENT kontakty naukowe zaowocowały moją późniejszą owocną i wieloletnią współpracą, zwłaszcza z prof. Nathalie Fagel i grupą jej współpracowników z Uniwersytetu w Liege (Belgia) oraz prof. Ansonem Mackay z Environmental Change Research Centre (University College London, Wielka Brytania).

W latach 2003-2006 brałam aktywny udział w pracach związanych z projektem Centrum Doskonałości *Gliwice Absolute Dating Methods (GADAM) Centre* finansowanym w 5 Programie Ramowym UE, a kierowanym przez prof. dr hab. Annę Pazdur. W jego ramach odbyłam staż w ETH w Zurychu, a także uczestniczyłam w szeregu warsztatów naukowych (*Presentation and understanding of dating results* (Ustroń, 2003), *Towards improved absolute chronology of Late Pleistocene and Holocene* (Ustroń, 2004), *Isotope methods in environmental studies* (Ustroń, 2005)). Ukończyłam również 3-semesterne podyplomowe studia w języku angielskim *Methods of absolute dating and applications* (Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno-Fizyczny, Gliwice). W roku 2004 zdobyłam stypendium przeznaczone na udział w 2-tygodniowym kursie szkoleniowym dla młodych naukowców organizowanym w ramach projektu Holivar (*Holocene Climate Variability*) pt. "Quantitative climate reconstruction and data-model comparisons" na Uniwersytecie w Gandawie (Belgia). Wiedza zdobyta podczas warsztatów i kursów miały niebagatelne znaczenie dla mojego dalszego rozwoju naukowego, a nawiązane tam kontakty naukowe utrzymuję przez cały czas, w szczególności z prof. dr hab. Wojciechem Tylmannem z Uniwersytetu Gdańskiego (wspólna realizacja 3 projektów i publikacji) i dr Maartenem Blaauwem (autorem programów do modelowania wieku *Bacon* i *Clam*, wspólne publikacje).

Podczas studiów doktoranckich zaangażowałam się również w prace związane z opracowaniem nowej bazy danych dla wyników datowania ^{14}C uzyskiwanych w Laboratorium w Gliwicach i zajmowałam się jej administrowaniem (Piotrowska i in. 2004b).

2.4.2. DORÓBEK I OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Tematykę moich prac naukowych prowadzonych po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje kilka kategorii:

1. Datowanie radiowęglowe AMS i konstrukcja skal czasu dla osadów torfowych i jeziornych, stanowiąca podstawową część mojego osiągnięcia opisanego w punkcie 2.3, którą zajmuję się w sposób ciągły.
2. Badania izotopowe osadów jeziornych, rocznych przyrostów drzew i atmosferycznego CO₂, stanowiące obecnie istotny przedmiot moich zainteresowań naukowych.
3. Datowanie stanowisk archeologicznych, które jest interesującym rozszerzeniem uprawianej przez mnie tematyki badawczej.

2.4.2.1. Konstrukcja skal czasu dla osadów torfowych i jeziornych

Tematyka ta stanowi główny obszar moich zainteresowań naukowych po uzyskaniu tytułu doktora. Podczas realizacji projektów międzynarodowych i krajowych nawiązałam wiele kontaktów z naukowcami badającymi dzieje Ziemi i jej klimatu, którzy zwracali się z prośbą o współpracę w zakresie datowania ¹⁴C oraz tworzenia modeli wiek-głębokość. Wynikiem tej współpracy jest wiele opublikowanych prac naukowych, wspólnie składane wnioski i realizacja kolejnych projektów. Poniżej przedstawiłam zagadnienia wykraczające poza główne osiągnięcie opisane w punkcie 2.3.

Jednym z ważniejszych obiektów moich badań było torfowisko wysokie Misten ze wschodniej Belgii. Współpraca dwustronna z Uniwersytetem w Liege, prowadzona od 2006 roku i koordynowana z polskiej strony przez prof. dr hab. Annę Pazdur, zaowocowała między innymi badaniami kilku rdzeni osadów z tego torfowiska, dla których wykonałam datowanie radiowęglowe oraz skonstruowałam ciągłe chronologie na podstawie datowania ¹⁴C oraz ²¹⁰Pb. Badania obejmowały różne przedziały czasowe i koncentrowały się na różnych aspektach analiz osadów torfowych. Wynikiem kooperacji jest moje współautorstwo w 5 publikacjach obejmujących szerokie spektrum rekonstrukcji środowiska, w szczególności:

- wielowskaźnikowe badania zmian środowiska w ostatnim tysiącleciu (De Vleeschouwer i in. 2012);
- rekonstrukcję historii depozycji rtęci w czterech rdzeniach obejmujących ostatnie 1500 lat (Allan i in. 2013a);
- określenie szybkości akumulacji metali śladowych i ich ocena w stosunku do historii emisji do atmosfery ze źródeł antropogenicznych (Allan i in. 2013b);
- rekonstrukcję depozycji pyłu i określenie jego pochodzenia w okresie 2000-7300 lat cal BP (Allan i in. 2013c), a także rozróżnienie zmian w strumieniu dostawy pyłu związanych z naturalnymi zmianami klimatu i działalnością ludzką (Fagel i in. 2014).

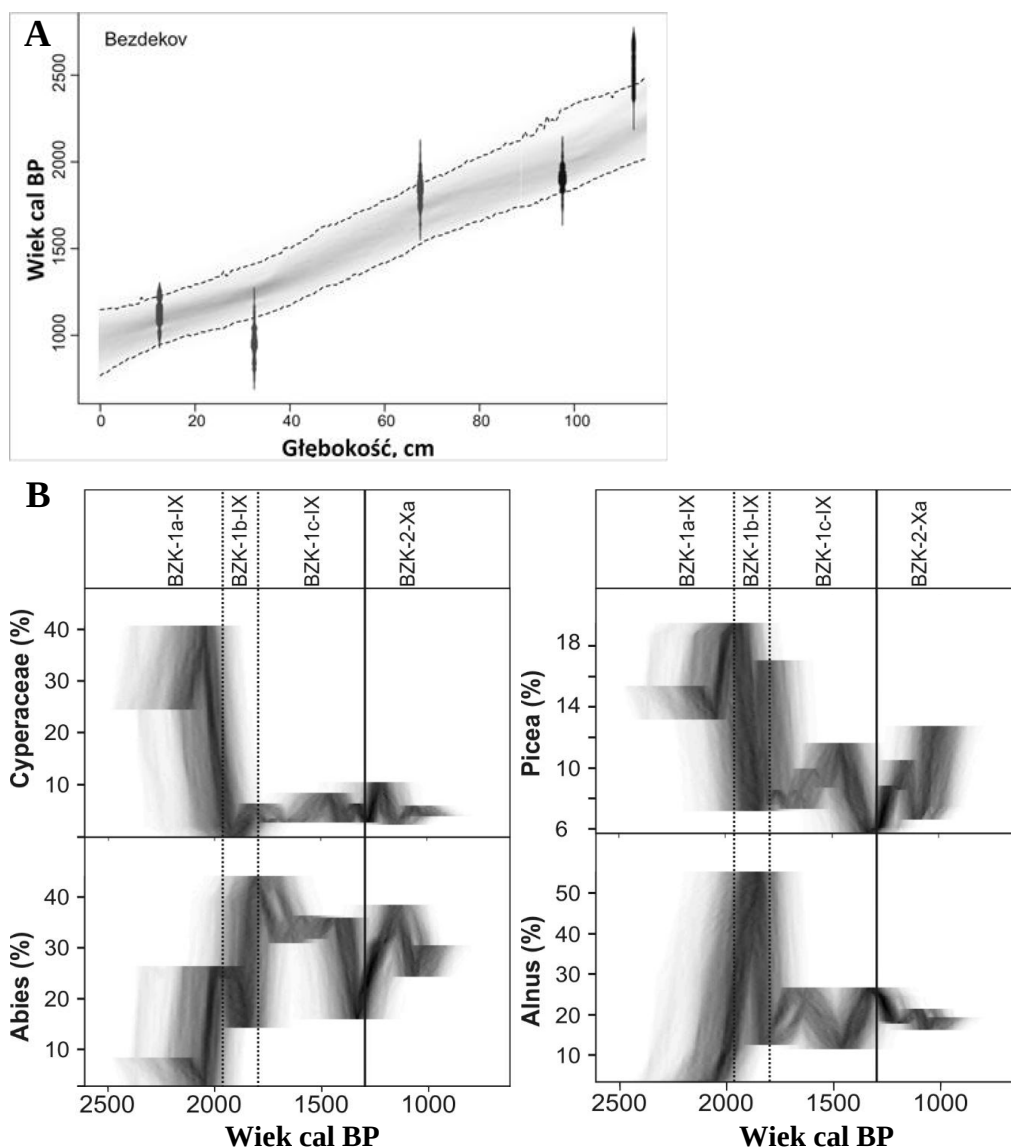
Ze współpracą polsko-belgijską związane były również badania torfowiska typu bałtyckiego Słowińskie Błota (Polskie wybrzeże Bałtyku, okolice Darłowa). W roku 2006 weszłam w skład interdyscyplinarnej grupy naukowców zajmującej się badaniem osadów tego torfowiska. Model wieku był

przedmiotem omówionych powyżej publikacji A.3 i A.6. W osadzie tym, ze względu na unikalny charakter i położenie, zachował się zapis zmian klimatycznych przez ostatnie ok. 1300 lat, takich jak okresy chłodniejsze i cieplejsze oraz zmiany wilgotności (Lamentowicz i in. 2009, De Vleeschouwer i in. 2009a (A.6)). Zrekonstruowana została również działalność człowieka - intensywność eksploatacji złóż cynku i ołowiu oraz emisja metali ciężkich do atmosfery (De Vleeschouwer i in. 2009b).

Moja działalność naukowa dotyczyła również datowania i tworzenia chronologii dla osadów torfowych z Polski południowej, wykonanych we współpracy z dr Barbarą Fiałkiewicz-Kozieł (Uniwersytet Śląski w Katowicach, obecnie Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu) i dr Beatą Śmieją-Król (Uniwersytet Śląski w Katowicach). Prace dotyczyły dwóch torfowisk z Kotliny Orawsko-Nowotarskiej: Puścizny Małej (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2014a, A.5) oraz Puścizny Krauszowskiej (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2015), dla których budowanie modelu wieku na podstawie datowania ^{210}Pb i ^{14}C było procesem dość skomplikowanym. W trakcie zestawiania wyników modelowania oraz analiz geochemicznych i palinologicznych zauważyliśmy wiele niezgodności, których wnikliwa analiza doprowadziła do wniosku, że przyczyną ich powstania była działalność człowieka polegająca na wydobywaniu torfu. Kolejne dwa obiekty badań to torfowiska przejściowe położone na Wyżynie Śląskiej w dolinie Małej Panwi (Bagno Bruch i Bagno Mikołeska). Na podstawie wyników analiz geochemicznych i dzięki wykonanemu przez mnie datowaniu ^{14}C i konstrukcji chronologii opartej również o wyniki datowania ^{210}Pb możliwe było obliczenie szybkości akumulacji węgla (CAR) w blisko siebie położonych torfowiskach o różnym reżimie wodnym oraz jej rekonstrukcja w czasie, która pokazała niemal dwukrotne różnice w wartości CAR (Fiałkiewicz-Kozieł i in. 2014b).

Obiektem interesujących badań prowadzonych pod kierunkiem prof. Radosława Dobrowolskiego (UMCS, Lublin), w których biorę udział, są również sekwencje osadów torfowo-martwicowych z torfowisk źródliskowych. Rekonstrukcja zmian środowiska na podstawie wyników badań interdyscyplinarnych (makroszczątki roślinne, palinologia, malakologia, sedymentologia, geochemia, izotopy stabilne węgla i tlenu) została dokonana dla torfowiska źródliskowego Radzików z Podlasia (Dobrowolski i in. 2012). Dla stanowiska tego opracowałam bezwzględną chronologię, a także interpretację składu izotopów stabilnych węgla i tlenu na skali czasu, która potwierdziła, że w badanym osadzie wyraźnie zapisane zostało ochłodzenie Młodszeo Driasu. Publikacja wyników badań z kolejnego stanowiska jest w trakcie recenzji.

W ramach współpracy z palinologiem dr Evą Břízovą (Czech Geological Survey, Praga, Czechy) opracowałam model wieku dla torfowiska Bezděkov (Masyw Czesko-Morawski). Owocem jest praca opisująca wyniki dokładnej analizy palinologicznej profilu torfowego Bezděkov oraz wyniki datowania ^{14}C (Břízová i in. 2012). Zawiera on nowatorskie podejście do konstrukcji skali czasu (program *Bacon*) i prezentacji wyników badań na skali czasu wraz z niepewnościami modelu wieku przedstawionymi graficznie w skali szarości (Ryc. 8). Wyniki uzyskane dla kolejnego badanego stanowiska są obecnie przygotowywane do publikacji.



Ryc. 8 Model wieku dla torfowiska Bezdekov uzyskany przy użyciu programu Bacon (A) oraz zmiany względnego udziału wybranych wskaźnikowych taksonów pyłkowych na kalendarzowej skali czasu (B). Szary obszar oznacza zakres niepewności związany z modelem wieku. Ryciny przygotowane w programie Bacon, pochodzą z pracy Brízová i in. (2012).

Niezwykłe odkrycie związane było z realizacją projektu PARAD („Zapis strumieni pyłów atmosferycznych w torfowiskach – wnioski paleośrodowiskowe i paleoklimatyczne dla południa Ameryki Południowej”), kierowanego przez dr F. De Vleeschouwera (*ECOLAB Toulouse*, Francja), w którym biorę udział. Skala czasu, którą stworzyłam dla osadów torfowych z torfowiska Karukinka z Ziemi Ognistej została oparta na datowaniu ^{14}C szczątków mchów torfowców i znanym wieku dwóch poziomów pyłów wulkanicznych, przy użyciu programu *Clam*. Sięgająca 8000 lat wstecz chronologia stanowiła podstawę rekonstrukcji historii emisji metali (Cu, Sb, Pb, Sn) oraz działalności hutniczej na terenie Ameryki Południowej (De Vleeschouwer i in. 2014). Wyniki wykazały wzrost zawartości miedzi, ołowiu i cyny w osadzającym się pyłe atmosferycznym w okresach odpowiadających etapom rozwoju cywilizacji prekolumbijskich w Andach. Analizy izotopowe ołowiu udowodniły odległe pochodzenie tych metali, a

modelowanie cyrkulacji atmosferycznej potwierdziło możliwość transportu cząstek na odległość prawie 4000 km na południe. Jest to pierwsza praca naukowa pokazująca tak daleki transport metali z Andów do najbardziej południowego krańca Ameryki Południowej. Efektem projektu PARAD jest również kolejna publikacja w czasopiśmie *Nature Scientific Reports*, w której dowodzimy, że pod koniec ostatniego zlodowacenia zmiany w cyrkulacji wiatrów zachodnich zapisały się zwiększona ilością zdeponowanego pyłu atmosferycznego (Vanneste i in. 2015).

Po uzyskaniu stopnia doktora brałam również udział w pracach badawczych nad osadami jeziornymi, przede wszystkim w ramach kierowanego przez mnie projektu „Modelowanie kalendarzowych skal czasu dla jeziornych osadów laminowanych w północnej Polsce jako podstawa rekonstrukcji paleośrodowiskowych o wysokiej rozdzielczości czasowej” (NCN, lata 2009-2012), będącego częścią większego przedsięwzięcia o nazwie NORPOLAR (*Northern Polish Lake Research*). We współpracy z prof. dr hab. Wojciechem Tylmannem i dr Małgorzatą Kinder z Uniwersytetu Gdańskiego wykonałam datowanie ^{14}C 70 próbek makroszczątków z 4 jezior charakteryzujących się osadami z roczną laminacją. Opracowane przez mnie wyniki dla Jeziora Szurpiły (Pojezierze Suwalskie) weszły w skład publikacji stanowiącej część osiągnięcia (Kinder i in. 2013, pkt. A.4). Model wieku dla osadów Jeziora Suminko (Pojezierze Kaszubskie) został oparty na wynikach datowania ^{14}C , pomiarach aktywności ^{137}Cs i chronologii warwowej, które to informacje połączyłam w jeden model przy użyciu programu *OxCal* (patrz też Ryc. 2). Został on spożytkowany w pracy prezentującej wyniki wielowskaźnikowych badań wykorzystujących analizy: palinologiczną, zmienności gatunkowej okrzemek, oraz geochemiczne do rekonstrukcji zmian środowiska obejmujących ostatnie 11 500 lat (Pędziszewska i in. 2015).

Kontynuowałam również badania środowiska Jeziora Wigry, które rozpoczęłam w ramach pracy doktorskiej. Zebrałam i poddałam analizie wyniki datowania osadów torfowych, które rozwinęły się na gytiach jeziornych w otoczeniu obecnego jeziora, w celu odtworzenia jego zasięgu w przeszłości (Piotrowska, 2009) i brałam aktywny udział w tworzeniu podsumowania badań geologicznych i paleoekologicznych osadów wigierskich (Kupryjanowicz i in. 2009).

Kolejnymi jeziorami, którymi zajmowałam się w swojej pracy są jeziora z terenu Syberii, we współpracy z prof. Ansonem Mackay z *Environmental Change Research Centre (Department of Geography, UCL, Londyn, Wielka Brytania)*, w tym Jezioro ESM-1 (Mackay i in. 2012, pkt. A.7) oraz Jezioro Khall, położone nieopodal zachodniego brzegu Jeziora Bajkał. Praca opisująca wyniki wielowskaźnikowych badań osadów Jeziora Khall zawiera zbudowaną przez mnie przy pomocy programu *Bacon* skalę czasu, obejmującą okres ostatnich 5000 lat (Mackay i in. 2013). Analizy pyłkowe, zmienności gatunkowej małżoraczków, pomiary podatności magnetycznej, analiza uziarnienia i składu pierwiastkowego oraz statystyczne opracowanie wyników pozwoliły na rekonstrukcję zmian środowiska, które spowodowane były czynnikami klimatycznymi. Między innymi zrekonstruowano chłodny i wilgotny okres odpowiadający małej epoce lodowej, okres względnej stabilności warunków środowiska zbieżny w czasie ze średniowiecznym optimum klimatycznym oraz okres gwałtownych zmian między 2,75 i 2,48 cal ka BP, kiedy to klimat stał się bardziej kontynentalny, co pozostaje w zbieżności z innymi zapisami regionalnymi. Pomimo długiej tradycji

pasterskiej w tym regionie nie odnotowano jednak znaczącego wpływu działalności człowieka na środowisko.

Praca w zespołach interpretujących analizy osadów Jeziora Bajkał są przez mnie kontynuowane po uzyskaniu tytułu doktora praktycznie do chwili obecnej. Przede wszystkim pojawiła się potrzeba ponownej konstrukcji chronologii ze stanowiska Vydrino. Modelowanie przeprowadziłam z wykorzystaniem wyników datowania radiowęglowego ekstraktów pyłkowych z dwóch rdzeni, które zsynchronizowano przy pomocy charakterystycznych zmian składu gatunkowego okrzemek, ponadto użyłam zaktualizowanej wersji krzywej kalibracyjnej IntCal09. Model ten został wykorzystany przy publikacji wyników pomiarów składu izotopowego tlenu w okrzemkach jako wskaźnika zmian hydrologicznych – balansu wody dostarczanej przez rzeki z północnej i południowej części zlewni Jeziora Bajkał na tle zmian cyrkulacji oceanicznej (Mackay i in. 2011). W przygotowaniu jest następna wspólna publikacja na temat zmian szybkości akumulacji węgla w osadach Jeziora Bajkał w holocenie. Kontakty naukowe nawiązane z dr Hedi Oberhaensli (GeoForschungZentrum Poczdam, Niemcy) zaowocowały badaniami metodycznymi dotyczącymi datowania radiowęglowego osadów Jeziora Bajkał. Wykonałam datowanie całości materii organicznej, a wyniki porównane z datowaniem pyłku uzyskanym w ramach projektu CONTINENT i mojej pracy doktorskiej są unikalne w skali światowej. Wyniki dowodzą znacznych różnic w pochodzeniu materii organicznej w osadach, jak również o zmienności ich proporcji w czasie i przestrzeni i są przedmiotem przygotowywanej publikacji.

2.4.2.2. Badania izotopowe osadów jeziornych, przyrostów drzew i atmosferycznego CO₂

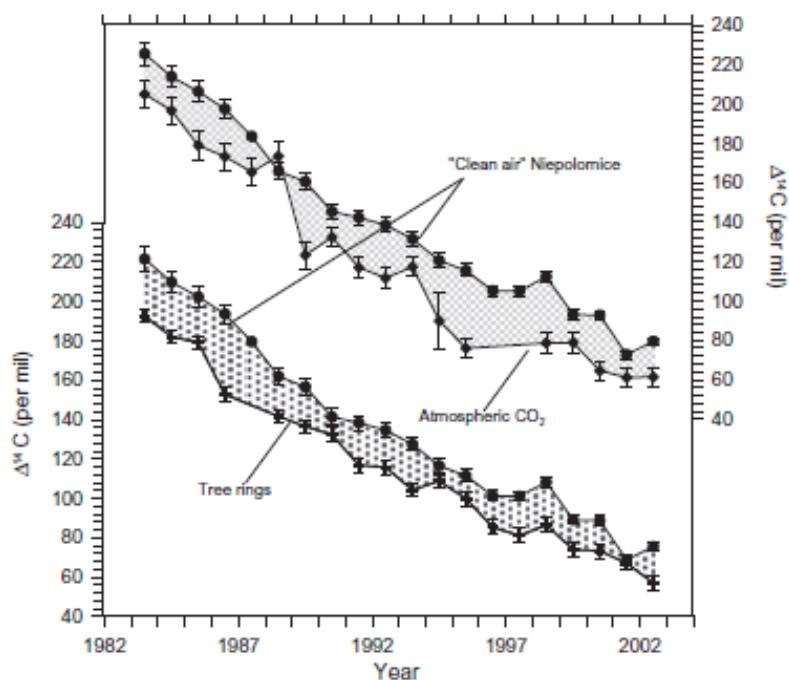
Moje zainteresowania naukowe obejmują badania izotopowe różnych archiwów jako źródła informacji o zmianach klimatu w przeszłości oraz pozwalających na śledzenie wpływu działalności człowieka na środowisko. W szczególności zajmuję się interpretacją składu izotopowego węgla i tlenu we współczesnym środowisku jeziornym oraz rekonstrukcją zmian tego środowiska w przeszłości na podstawie danych izotopowych w połączeniu z innymi badaniami paleośrodowiskowymi. Pierwszym obiektem moich badań, jako kontynuacja pracy doktorskiej, było jezioro Wigry. We współpracy z prof. Stanisławem Hałasem z Pracowni Spektrometrii Mas UMCS w Lublinie wykonane zostały pomiary składu izotopowego węgla i tlenu ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$) w próbkach węglanów z datowanego wcześniej rdzenia osadów oraz w różnych składnikach środowiska sedimentacji węglanowej w południowej części jeziora. Wyniki badań izotopowych zostały porównane do zapisu zmian klimatycznych i faz rozwoju Jeziora Wigry i wykazują z nimi dobrą zgodność (Piotrowska i Hałas, 2009; Kupryjanowicz i in. 2009). Brałam również udział w badaniach izotopowych współczesnych roślin, muszli, strąceń węglanowych, których wyniki zostały zestawione przez Sensułę i in. (2006).

Kolejnym obiektem moich obecnie realizowanych badań jest Jezioro Żabińskie z laminowanymi rocznie osadami, poddane badaniom wysokiej rozdzielczości w ramach projektu CLIMPOL: *Climate of northern Poland during the last 1000 years: Constraining the future with the past (Klimat północnej Polski w ostatnim 1000 lat: Powiązanie przyszłości z przeszłością)*, finansowanego przez Polsko-Szwajcarski

Program Badawczy w latach 2011-2015. Kierownikiem projektu ze strony polskiej jest dr hab. Wojciech Tylmann z Uniwersytetu Gdańskiego, a ja kieruję zadaniem obejmującym analizy izotopowe. Celem projektu CLIMPOL jest stworzenie zbioru danych zawierającego ilościowe serie temperatury powietrza dla północnej Polski za ostatnich 1000 lat. Będzie to pierwsza tego rodzaju rekonstrukcja w Europie Centralnej i Wschodniej, która dostarczy informacji o regionalnej zmienności klimatu i jej trendach podczas ciepłych (średniowieczne optimum klimatyczne) i zimnych (mała epoka lodowa) okresów w Polsce. Wyniki przeprowadzonych pomiarów składu izotopowego węgla i tlenu w węglanach potwierdzają, że zmiany te zostały zapisane w osadach, i trwają prace nad konstrukcją tzw. funkcji przejścia, która umożliwi liczbową rekonstrukcję temperatury. Do tego celu zastosowano dwa podejścia: rekonstrukcję opartą na korelacji $\delta^{18}\text{O}$ z 120-letnim ciągiem danych meteorologicznych oraz korelację temperaturową $\delta^{18}\text{O}$ węglanów strącających się współcześnie w 50 jeziorach ze zbioru testowego. Ponadto Jezioro Żabińskie objęto szczegółowym monitoringiem izotopowym obejmującym 2-letnie pomiary składu izotopowego tlenu i wodoru w wodzie jeziornej, dopływach i odpływach jeziora, opadach atmosferycznych, a także składu izotopowego tlenu i węgla w osadzie gromadzącym się w pułapkach sedymentacyjnych. Uzyskane wyniki są obecnie poddawane opracowaniu i przygotowywane są 3 publikacje. W ramach projektu CLIMPOL badania do pracy doktorskiej wykonuje studentka studiów doktoranckich mgr inż. Alicja Gabryś (Ustrzycka), nad którą sprawuję opiekę naukową.

Emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze źródeł antropogenicznych – spalania paliw kopalnych, które nie zawierają izotopu ^{14}C – jest powodem zaniżenia koncentracji radiowęgla w atmosferycznym CO_2 . Zjawisko to jest odzwierciedlone w koncentracji radiowęgla w rocznych przyrostach drzew. W ramach współpracy z prof. Toshio Nakamurą (*Tandetron AMS ^{14}C Dating Laboratory, Center for Chronological Research, Nagoya University, Japonia*) wykonałam pomiary koncentracji ^{14}C techniką AMS w 44 próbkach α -celulozy uzyskanej ze stanowiska sosny zwyczajnej z Puszczy Niepołomickiej, dla których wykonywane były wcześniej badania izotopowe w ramach projektu ISONET. Wyniki analiz dla lat 1960–1999 wykazały, że obszar ten, mimo stosunkowo niewielkiej odległości od Krakowa, charakteryzuje się powietrzem praktycznie wolnym od CO_2 ze spalania paliw kopalnych (Pazdur i in. 2007) i zostały następnie wykorzystane jako regionalny wzorzec do obliczenia udziału CO_2 ze spalania paliw kopalnych w całkowitej koncentracji CO_2 w Krakowie, która wynosiła 5,91 ppmV w latach 1983–2002 (Rakowski in. 2013, Ryc. 9).

Wyniki te weszły również w skład szerokiego zestawienia analiz składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO_2 na południu Polski (Pazdur i in. 2013). W pracy tej podano również alternatywną hipotezę, iż za brak zaniżenia koncentracji ^{14}C w przyrostach drzew z Puszczy Niepołomickiej odpowiedzialny jest CO_2 pochodzący z rozkładu materii organicznej w środowisku leśnym, który to CO_2 zawiera z kolei zawyżoną koncentrację ^{14}C , co maskuje efekt antropogeniczny. Kolejnym badaniem we współpracy z dr hab. Andrzejem Rakowskim i prof. Nakamurą stanowiskiem było miasto Valladolid (Hiszpania), dla którego z kolei oszacowana średnia roczna koncentracja antropogenicznego CO_2 dla okresu 1986–2007 wynosiła 9,46 ppmV (Rakowski i in. 2010).



Ryc. 9 Koncentracja izotopu ^{14}C wyrażona jako wartość $\Delta^{14}\text{C}$ w rocznych przyrostach drewna z Krakowa oraz tamtejszego atmosferycznego CO_2 . Jako wartość odniesienia dla czystego powietrza przyjęto $\Delta^{14}\text{C}$ wyznaczoną dla drewna z Puszczy Niepolomickiej (Rakowski i in. 2013).

W latach 2010–2013 brałam udział w projekcie MNiSW/NCN *Metoda monitoringu antropogenicznej emisji CO_2 z użyciem przyrostów rocznych drzew* pod kierownictwem prof. Anny Pazdur. Dotyczył on kontroli bieżącej emisji CO_2 oraz jej rekonstrukcji na podstawie badań rocznych przyrostów drzew z obszaru Gliwic. W jego ramach wykonałam pomiary koncentracji ^{14}C w 106 próbkach atmosferycznego CO_2 pobieranego co tydzień w centrum miasta. Na podstawie ekstrapolowanej koncentracji ^{14}C w czystym powietrzu oraz średniej koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze, wyznaczyłam udział dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych i jego sezonową zmienność. Wyniki są przedmiotem przygotowywanej publikacji.

Jestem również wykonawcą pomiarów ^{14}C AMS w projekcie „Drzewa jako bioindykatory przemysłowych zanieczyszczeń powietrza w okresie wdrażania pro-ekologicznej polityki na obszarze Śląska” kierowanym przez dr inż. Barbarę Sensułę, w ramach którego w 2015 roku wyznaczyłam koncentrację izotopu ^{14}C w 77 próbkach α -celulozy z rocznych przyrostów drzew z 4 rejonów Górnego Śląska za okres 1975-2012 AD.

2.4.2.3. Datowanie stanowisk archeologicznych

Interesujące odkrycie archeologiczne, w którym brałam udział, związane było z datowaniem ^{14}C węgla drzewnych ze stanowiska Tell Qaramel (obecnie Syria) z terenu „Żywnego Półksiężyca”. W ścisłej współpracy z prof. Ryszardem F. Mazurowskim (Instytut Archeologii UW) na podstawie 57 dat radiowęglowych została skonstruowana chronologia stanowiska obejmująca 5 faz (Mazurowski i in. 2009). W czasie wykopalisk prowadzonych tam od 1999 roku odkryto szczątki pochodzące z wczesnego okresu

Neolitu preceramicznego, okresu przejściowego między kulturą łowiecko-zbieracką a udomowieniem zwierząt i początkiem rolnictwa. Co istotne, badania dowodzą, że przejście to było ciągłe, powolne i trwało ponad tysiąc lat. Ponadto datowanie ^{14}C wskazało, iż odkryte tam szczątki budowli 5 okrągłych wież są najstarszymi takimi konstrukcjami na świecie, starszymi niż słynna wieża z Jerycha. Wyniki potwierdzają też, że kultura Neolitu rozwijała się równocześnie w wielu rejonach Bliskiego Wschodu, tworząc pierwsze osady ludzkie.

Brałam również udział w multidyscyplinarnych badaniach profilu torfowego pochodzącego z pobliża średniowiecznego portu w Pucku, dla którego wykonałam datowanie ^{14}C i zbudowałam model wieku przy pomocy programu *Clam*. Przeprowadzone analizy (palinologia, makroszcątki roślinne, okrzemki, TOC, P, metale ciężkie, izotopy stabilne) doprowadziły do wniosku, że istnienie portu związane było ściśle z poziomem morza i warunkami hydrodynamicznymi (Uścińowicz i in. 2013). W okresie budowy portu (800-900 AD) poziom morza był ok. 0,7 m niższy, a warunki łagodne. Stan ten uległ szczególnie silnej zmianie na początku małej epoki lodowej (1300-1350 AD) i wtedy odnotowano spadek aktywności portu. Za ostateczny upadek portu odpowiedzialne są jednak, oprócz niesprzyjających warunków klimatycznych, zmiany ekonomiczne w tym rejonie.

Obecnie trwają prace nad datowaniem i konstrukcją chronologii kolejnych stanowisk, m. in. średniowiecznego klasztoru z Sudanu oraz kości ludzkich ze stanowisk mezolitycznych z terenu Polski.

2.5. PODSUMOWANIE

Poniżej przedstawiam podsumowanie najważniejszych osiągnięć z mojego dorobku uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora w 2005 roku, którego szczegóły zawierają załączniki nr 3 i 4:

- Jestem współautorką 28 prac opublikowanych w czasopismach z listy JRC (zał. 3 pkt 3.1 i 3.2.1).
- Sumaryczny *impact factor* wszystkich moich publikacji to 71,298, liczba cytowań według bazy Web of Science wynosi 308 (254 bez autocytowań), indeks Hirscha wynosi 11.
- Brałam udział w 2 międzynarodowych projektach badawczych (CLIMPOL, PARAD, zał. 3 pkt 3.3.1) oraz w 3 projektach międzynarodowych o innej formule (zał. 4 pkt 4.1).
- Kierowałam jednym projektem krajowym finansowanym przez NCN, brałam i biorę udział jako wykonawca w 9 innych projektach krajowych (zał. 3, pkt. 3.3.2).
- Dziewięciokrotnie otrzymałam zespołową nagrodę Rektora Politechniki Śląskiej za osiągnięcia naukowe (zał. 3, pkt. 3.4).
- Wygłosiłam 4 referaty naukowe na konferencjach międzynarodowych, 1 na konferencji krajowej oraz 6 innych spotkaniach naukowych (zał. 3, pkt. 3.5)
- Byłam autorką lub współautorką 65 prezentacji konferencyjnych na konferencjach międzynarodowych (62) i krajowych (3), w tym osobiście uczestniczyłam w 16 konferencjach (zał. 4, pkt. 4.2).
- Czterokrotnie brałam czynny udział w organizacji konferencji i warsztatów międzynarodowych (zał. 4, pkt. 4.3).
- Kierowałam pracami doświadczalnymi prowadzonymi w Pracowni AMS Gliwickiego Laboratorium Radiowęglowego od roku 2001, w tym formalnie 80 pracami naukowo-badawczymi od roku 2010 (zał. 4, pkt. 4.6 i 4.17).
- Kilukrotnie opracowałam i wygłosiłam wykłady oraz prowadziłam ćwiczenia z podstaw metody radiowęglowej, przede wszystkim dla doktorantów i młodych pracowników nauki z dziedzin nauk o Ziemi, archeologii i historii (zał. 4, pkt. 4.9.1).
- Prowadziłam wykład z podstaw fizyki dla studentów Wydziału Matematyki Stosowanej w ramach którego opracowałam treści części wykładów w formie prezentacji multimedialnych (zał. 4, pkt. 4.9.1).
- Współtworzyłam ćwiczenia z fizyki dla studentów Elektrotechniki Wydziału Elektrycznego, prowadzonych w 2015 roku częściowo przy pomocy systemu e-learningowego (Platforma Zdalnej Edukacji, zał. 4, pkt. 4.9.1).
- Współorganizowałam i brałam aktywny udział w wydarzeniach popularyzatorskich: warsztatach dla dzieci, Nocy Naukowców na Politechnice Śląskiej, Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik w Warszawie (zał. 4, pkt. 4.9.2), oceniałam prace w Ogólnopolskim Konkursie na Pracę „Fizyka a Ekologia” im. prof. Mieczysława F. Pazdura (zał. 4, pkt. 4.14).
- Sprawuję opiekę naukową nad doktorantką mgr inż. Alicją Ustrzycką, wykonującą pracę doktorską w ramach kierowanej przez mnie części projektu CLIMPOL (zał. 4, pkt. 4.11).
- Dwukrotnie wyjeżdżałam na wizyty naukowe do *Département de Géologie, Université de Liège* (ULG), Belgia (Region Walonii), byłam również na szkoleniu w Eidgenössische Technische Hochschule, Zurych, Szwajcaria (zał. 4, pkt. 4.12).
- Recenzowałam 12 publikacji w międzynarodowych czasopismach oraz 1 projekt badawczy (zał. 4, pkt. 4.15-16).

2.6. LITERATURA

Lista prac opublikowanych przed doktoratem:

1. Boës X., Piotrowska N., Fagel N., 2005, High-resolution diatom/clay record in Lake Baikal from grey-scale, and magnetic susceptibility over Termination I. *Global and Planetary Change*, 46(1-4), 299-313.
2. Pawlyta J., Pazdur A., Rutkowski J., Król K., Piotrowska N., Poręba G., Szczepanek M., Sikorski J., Hałas S., 2004. Isotopic investigations of uppermost sediments from Lake Wigry (NE Poland) and its environment. *Geochronometria*, 23, 71-78.
3. Pawlyta J., Piotrowska N., 2004. Wstępne wyniki badań radiowęglowych najmłodszych osadów z Jeziora Wigry oraz jego otoczenia. *Prace komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, Tom II, 65-69.
4. Pazdur A., Dobrowolski D., Mohanti M., Piotrowska N., Das S., 2001a. Radiocarbon time scale for deposition of the holocene calcareous tufaceous sediments from Poland and India (Orissa). *Geochronometria*, 21, 85-96.
5. Pazdur A., Dobrowolski D., Mohanti M., Piotrowska N., Das S., 2001b. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ time record and palaeoclimatic implications of the holocene calcareous tufaceous sediments from southern Poland and India (Orissa). *Geochronometria*, 21, 97-108.
6. Piotrowska N., Goslar T., 2002. Preparation of bone samples in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for AMS radiocarbon dating. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 38(4), 267-275.
7. Piotrowska N., Bluszcz A., Demske D., Granoszewski W., Heumann G., 2004a. Extraction and AMS radiocarbon dating of pollen from Lake Baikal sediments. *Radiocarbon*, 46(1), 181-187.
8. Piotrowska N., Szczepanek M., Pazdur A., Zajadacz W., 2004b. RoS – a new database system in the Gliwice Radiocarbon Laboratory. *Geochronometria*, 23, 51-57.
9. Piotrowska N., Hajdas I., 2005. Kalendarzowa skala czasu dla osadów jeziornych Zatoki Słupiańskiej (Jezioro Wigry) na podstawie datowania radiowęglowego. *Prace komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, Tom III, 193-197.

Lista publikacji przygotowanych po doktoracie, zawierających wyniki z pracy doktorskiej:

10. Piotrowska Natalia, Hajdas Irka, Bonani Georges, 2007. Construction of the calendar time scale for Lake Wigry (NE Poland) sediments on the basis of radiocarbon dating. *Radiocarbon* 49(2), 1133-1143.
11. Piotrowska Natalia, 2009. Chronologia bezwzględna osadów Jeziora Wigry na podstawie datowania radiowęglowego. [w] Rutkowski, L. Krzysztofiak (red.) Jezioro Wigry. Historia jeziora w świetle badań geologicznych i paleoekologicznych. Suwałki: Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, 2009. ISBN 978-83-60115-25-1, str. 144-156.

Lista wszystkich cytowanych prac:

- Allan Mohammed, Le Roux Gaël, Sonke Jeroen E., Piotrowska Natalia, Streeel Maurice, Fagel Nathalie, 2013a. Reconstructing historical atmospheric mercury deposition in Western Europe using Misten peat bog cores, Belgium. *Science of the Total Environment* 442, 290–301.
- Allan Mohammed, Le Roux Gaël, De Vleeschouwer François, Bindler Richard, Blaauw Maarten, Piotrowska Natalia, Sikorski Jarosław, Fagel Nathalie, 2013b. High-resolution reconstruction of atmospheric deposition of trace metals and metalloids since AD 1400 recorded by ombrotrophic peat cores in Hautes-Fagnes, Belgium. *Environmental Pollution* 178, 1-14.
- Allan Mohammed, Le Roux Gaël, Piotrowska Natalia, Beghin Jérémie, Javaux Emmanuelle, Court-Picon Mona, Mattielli Nadine, Verheyden Sophie, Fagel Nathalie, 2013c. Mid- and late Holocene dust deposition in western Europe: the Misten peat bog (Hautes Fagnes - Belgium). *Climate of the Past* 9(5), 2285-2298.
- Bennett K.D., 1994. Confidence intervals for age estimates and deposition times in late-Quaternary sediment sequences. *The Holocene*, 4, 337–348.
- Bennett K.D., Fuller J.L., 2002. Determining the age of the mid-Holocene Tsuga canadensis (hemlock) decline, eastern North America. *The Holocene*, 12, 421–429.
- Blaauw M., 2010. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5, 512–518.
- Blaauw M., Heuvelink G. B.M., Mauquoy D., van der Plicht J., van Geel B. 2003. A numerical approach to ^{14}C wiggle-match dating of organic deposits: best fits and confidence intervals, *Quaternary Science Reviews* 22, 1485-1500.
- Blaauw M., Christen J.A., 2005. Radiocarbon peat chronologies and environmental change. *Applied Statistics*, 54, 805–816.
- Blaauw M., Christen J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6, 457-474.
- Blaauw M., Christen J.A., 2013. Bacon manual – v2.2. Document available on-line at http://chrono.qub.ac.uk/blaauf/manualBacon_2.2.pdf (access date: 23.02.2016)
- Blockley S.P.E., Blaauw M., Bronk Ramsey C., van der Plicht J., 2007. Building and testing age models for radiocarbon dates in Lateglacial and Early Holocene sediments. *Quaternary Science Reviews*, 26, 1915-1926.
- Boës X., Piotrowska N., Fagel N., 2005, High-resolution diatom/clay record in Lake Baikal from grey-scale, and magnetic susceptibility over Termination I. *Global and Planetary Change*, 46(1-4), 299-313.

- Boreux J.-J., Pesti G., Duckstein L., Nicolas J. 1997. Age model estimation in paleoclimatic research: fuzzy regression and radiocarbon uncertainties. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 128, 29-37.
- Břízová Eva, Pazdur Anna, Piotrowska Natalia, 2012. Upper Holocene development of vegetation and radiocarbon dating in the vicinity of the Cerhovka Brook (Bohemian-Moravian uplands, Czech Republic). *Geochronometria*, 39(4), 252-261.
- Bronk Ramsey C., 2008. Deposition models for chronological records. *Quaternary Science Reviews*, 27, 42-60.
- Bronk Ramsey C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.
- Bronk Ramsey C., Lee S., 2013. Recent and Planned Developments of the Program OxCal. *Radiocarbon*, 55(2-3), 720-730.
- De Vleeschouwer F., Piotrowska N., Sikorski J., Pawlyta J., Cheburkin A., Le Roux G., Lamentowicz M., Fagel N., Mauquoy D., 2009a. Multiproxy evidences of Little Ice Age palaeoenvironmental changes in a peat bog from northern Poland. *The Holocene* 19(4), 625-637.
- De Vleeschouwer François, Fagel Nathalie, Cheburkin Andriy, Pazdur Anna, Sikorski Jarosław, Mattielli Nadine, Renon Virginie, Fiałkiewicz Barbara, Piotrowska Natalia, Le Roux Gaël, 2009b. Anthropogenic impacts in North Poland over the last 1300 years and possible influence of climate on human activities. *Science of the Total Environment* 407: 5674-5684.
- De Vleeschouwer François, Pazdur Anna, Luthers Cédric, Streel Maurice, Mauquoy Dmitri, Wastiaux Cécile, Le Roux Gaël, Moschen Robert, Blaauw Maarten, Pawlyta Jacek, Sikorski Jarosław, Piotrowska Natalia, 2012. A millennial record of environmental change in peat deposits from the Misten bog (East Belgium). *Quaternary International* 268, 44-57.
- De Vleeschouwer François, Vanneste Heleen, Mauquoy Dmitri, Piotrowska Natalia, Torrejón Fernando, Roland Thomas, Stein Ariel, Le Roux Gaël (2014) Emissions from Pre-Hispanic Metallurgy in the South American Atmosphere. *PLoS ONE* 9(10): e111315.
- Dobrowolski Radosław, Pidek Irena A., Alexandrowicz Witold P., Hałas Stanisław, Pazdur Anna, Piotrowska Natalia, Buczek Alicja, Urban Danuta, Melke Jerzy, 2012. Interdisciplinary studies of spring mire deposits from Radzików (South Podlasie Lowland, East Poland) and their significance for palaeoenvironmental reconstructions. *Geochronometria* 39(1) 10-29
- Enters D., Kirchner G., Zolitschka B. 2006. Establishing a chronology for lacustrine sediments using a multiple dating approach - a case study from Frickenhauser See, central Germany. *Quaternary Geochronology*, 1, 249-260.
- Fagel Nathalie, Allan Mohammed, Le Roux Gael, Mattielli Nadine, Piotrowska Natalia, Sikorski Jarosław, 2014. Deciphering human-climate interactions in an ombrotrophic peat record: REE, Nd and Pb isotope signatures of dust supplies over the last 2500 years (Misten bog, Belgium). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 135, 288-306.
- Fiałkiewicz-Koziół Barbara, Kołaczek Piotr, Piotrowska Natalia, Michczyński Adam, Łokas Edyta, Wachniew Przemysław, Woszczyk Michał, Sensuła Barbara, 2014a. High resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies. *Radiocarbon* 56, 1-17.
- Fiałkiewicz-Koziół Barbara, Śmieja-Król Beata, Piotrowska Natalia, Sikorski Jarosław, Gałka Mariusz, 2014b. Carbon accumulation rates in two poor fens with different water regimes: Influence of anthropogenic impact and environmental change. *The Holocene* 24(11) 1539-1549.
- Fiałkiewicz-Koziół Barbara, Kołaczek Piotr, Michczyński Adam, Piotrowska Natalia, 2015. The construction of a reliable absolute chronology for the last two millennia in an anthropogenically disturbed peat bog: Limitations and advantages of using a radio-isotopic proxy and age-depth modelling. *Quaternary Geochronology* 25, 83-95.
- Geyh M. A., Schotterer U., Grosjean M., 1998. Temporal changes of the ^{14}C reservoir effect in lakes. *Radiocarbon*, 40(2), 921-931.
- Givelet N., Le Roux G., Cheburkin A., Chen B., Frank J., Goodsite M.E., Kempter H., Krachler M., Noernberg T., Rausch N., Rheinberger S., Roos-Barracough F., Sapkota A., Scholz C., Shotyk, W., 2004. Suggested protocol for collecting, handling and preparing peat cores and peat samples for physical, chemical, mineralogical and isotopic analyses. *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 481-492.
- Goslar T., van der Knaap W.O., van Leeuwen J., Kamenik Ch. 2009. Free-shape ^{14}C age-depth modelling of an intensively dated modern peat profile. *Journal of Quaternary Science*, 24(5), 481-499.
- Grimm E. C., 2011. High-Resolution Age Model Based on AMS Radiocarbon Ages for Kettle Lake, North Dakota, USA. *Radiocarbon*, 53, 39-53.
- Hajdas I., Michczyński A., 2010. Age-depth model of Lake Soppensee (CH) based on the high-resolution ^{14}C chronology compared with varve chronology. *Radiocarbon*, 52, 1027-1040.
- Haslett J., Parnell A., 2008. A simple monotone process with application to radiocarbon dated depth chronologies. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 57(4), 399-418.
- Heegaard E., Birks H. J. B., Telford R. J. 2005. Relationships between calibrated ages and depth in stratigraphical sequences: an estimation procedure by mixed-effect regression. *The Holocene*, 15(4), 612-618.
- Hercman H., Gąsiorowski M., Pawlak J., 2014. Testing the MOD-AGE chronologies of lake sediment sequences dated by the ^{210}Pb method. *Quaternary Geochronology* 22, 155-162.
- Kilian M.R., van der Plicht J., van Geel B., 1995. Dating raised bogs: new aspects of AMS ^{14}C wiggle matching, a reservoir effect and climatic change. *Quaternary Science Reviews*, 14, 959-966.

- Kinder Małgorzata, Tylmann Wojciech, Enters Dirk, Piotrowska Natalia, Poręba Grzegorz, Zolitschka Bernd, 2013. Construction and validation of calendar-year time scale for annually laminated sediments - an example from Lake Szurpily (NE Poland). *GFF - journal of the Geological Society of Sweden*, 135, 248-257.
- Kupryjanowicz Mirosława, Piotrowska Natalia, Rutkowski Jacek, Krzysztofiak Lech 2009. Podsumowanie (Główne etapy postglacjalnej ewolucji jeziora Wigry). [w] J. Rutkowski, L. Krzysztofiak (red.) Jezioro Wigry. Historia jeziora w świetle badań geologicznych i paleoekologicznych. Suwałki: Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, 2009. ISBN 978-83-60115-25-1, str. 256-267.
- Lamentowicz Mariusz, Milecka Krystyna, Gałka Mariusz, Cedro Anna, Pawlyta Jacek, Lamentowicz Łukasz, Piotrowska Natalia, van der Knaap Willem O., 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* 38(2): 214 - 229.
- Mackay Anson W., Bezrukova Elena V., Boyle John F., Holmes Jonathan A., Panizzo Virginia N., Piotrowska Natalia, Shchetnikov Alexander, Shilland Ewan M., Tarasov Pavel, White Dustin, 2013. Multiproxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol'khon region of Lake Baikal, central Asia. *Quaternary International* 290-291, 46-56.
- Mackay Anson W., Bezrukova Elena V., Leng Melanie J., Meaney Miriam, Nunes Ana, Piotrowska Natalia, Self Angela, Shchetnikov Alexander, Shilland Ewan, Tarasov Pavel, Wang Luo, White Dustin, 2012. Aquatic ecosystem responses to Holocene climate change and biome development in boreal, central Asia. *Quaternary Science Reviews* 41, 119-131.
- Mackay Anson W., Swann George E. A., Brewer Tim S., Leng Melanie J., Morley David W., Piotrowska Natalia, Rioual Patrick, White Dustin, 2011. A reassessment of late glacial – Holocene diatom oxygen isotope record from Lake Baikal using a geochemical mass-balance approach. *Journal of Quaternary Science*, 26 (6), 627-634.
- Mazurowski Ryszard F., Michczyńska Danuta J., Pazdur Anna, Piotrowska Natalia, 2009. Chronology of the Early Pre-Pottery Neolithic Settlement Tell Qaramel, Northern Syria, in the Light of Radiocarbon Dating. *Radiocarbon*, 51(2), 771-781.
- Michczyński A. 2007. Is it possible to find a good point estimate of a calibrated radiocarbon date? *Radiocarbon*, 49(2), 393-401.
- Oldfield F., Crooks P. R. J., Harkness D. D., Petterson G. 1997. AMS radiocarbon dating of organic fractions from varved lake sediments: an empirical test of reliability. *Journal of Paleolimnology*, 18, 87-91.
- Parnell A. C., Buck C. E., Doan T. K., 2011. A review of statistical chronology models for high-resolution, proxy-based Holocene palaeoenvironmental reconstruction. *Quaternary Science Reviews*, 30, 2948-2960.
- Pawlyta J., Pazdur A., Rutkowski J., Król K., Piotrowska N., Poręba G., Szczepanek M., Sikorski J., Hałas S., 2004. Isotopic investigations of uppermost sediments from Lake Wigry (NE Poland) and its environment. *Geochronometria*, 23, 71-78.
- Pawlyta J., Piotrowska N., 2004. Wstępne wyniki badań radiowęglowych najmłodszych osadów z Jeziora Wigry oraz jego otoczenia. *Prace komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, Tom II, 65-69.
- Pazdur A., Bluszcz A., Stankowski W., Starkel L., (red.) 1999. Geochronologia górnego czwartorzędu Polski w świetle datowania radiowęglowego i luminescencyjnego. WIND J. Wojewoda. Wrocław.
- Pazdur A., Dobrowolski D., Mohanti M., Piotrowska N., Das S., 2001a. Radiocarbon time scale for deposition of the holocene calcareous tufaceous sediments from Poland and India (Orissa). *Geochronometria*, 21, 85-96.
- Pazdur A., Dobrowolski D., Mohanti M., Piotrowska N., Das S., 2001b. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ time record and palaeoclimatic implications of the holocene calcareous tufaceous sediments from southern Poland and India (Orissa). *Geochronometria*, 21, 97-108.
- Pazdur Anna, Nakamura Toshio, Pawełczyk Sławomira, Pawlyta Jacek, Piotrowska Natalia, Rakowski Andrzej Z., Sensuła Barbara, Szczepanek Małgorzata, 2007. Carbon isotopes in tree rings: climate and the Suess effect interferences in the last 400 years. *Radiocarbon*, 49(2), 775-788.
- Pazdur Anna, Kuc Tadeusz, Pawełczyk Sławomira, Piotrowska Natalia, Sensuła Barbara, Różański Kazimierz, 2013. Carbon isotope composition of atmospheric carbon dioxide in Southern Poland: imprint of anthropogenic CO₂ emissions in regional biosphere. *Radiocarbon*, 55, 848-864.
- Pędziszewska Anna, Tylmann Wojciech, Witak Małgorzata, Piotrowska Natalia, Latałowa Małgorzata, 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 Paleobotany and Palynology*, 216, 55-75.
- Piotrowska Natalia, 2009. Chronologia bezwzględna osadów Jeziora Wigry na podstawie datowania radiowęglowego. [w] Rutkowski, L. Krzysztofiak (red.) Jezioro Wigry. Historia jeziora w świetle badań geologicznych i paleoekologicznych. Suwałki: Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, 2009. ISBN 978-83-60115-25-1, str. 144-156.
- Piotrowska Natalia, 2013. Status report of AMS sample preparation laboratory at GADAM Centre, Gliwice, Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 294, 176-181.
- Piotrowska N., Goslar T., 2002. Preparation of bone samples in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for AMS radiocarbon dating. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 38(4), 267-275.
- Piotrowska N., Bluszcz A., Demske D., Granoszewski W., Heumann G., 2004a. Extraction and AMS radiocarbon dating of pollen from Lake Baikal sediments. *Radiocarbon*, 46(1), 181-187.

- Piotrowska N., Szczepanek M., Pazdur A., Zajądacz W., 2004b. RoS – a new database system in the Gliwice Radiocarbon Laboratory. *Geochronometria*, 23, 51-57.
- Piotrowska N., Hajdas I., 2005. Kalendarzowa skala czasu dla osadów jeziornych Zatoki Słupiańskiej (Jezioro Wigry) na podstawie datowania radiowęglowego. *Prace komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, Tom III, 193-197.
- Piotrowska N., Hajdas I., Bonani G., 2007. Construction of the calendar time scale for Lake Wigry (NE Poland) sediments on the basis of radiocarbon dating. *Radiocarbon*, 49(2), 1133-1143.
- Piotrowska N., De Vleeschouwer F., Sikorski J., Pawlyta J., Fagel N., Le Roux G., Pazdur A., 2010. Intercomparison of radiocarbon bomb pulse and ^{210}Pb age models. A study in a peat bog core from North Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 268(7-8), 1163-1166.
- Piotrowska Natalia, Hałas Stanisław, 2009. Zmiany składu izotopowego węgla i tlenu w jeziorze Wigry jako źródło informacji paleoklimatycznych. [w] Rutkowski, L. Krzysztofiak (red.) Jezioro Wigry. Historia jeziora w świetle badań geologicznych i paleoekologicznych. Suwałki: Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, 2009. ISBN 978-83-60115-25-1, str. 157-167.
- Piotrowska Natalia, Blaauw Maarten, Mauquoy Dmitri, Chambers Frank M., 2011. Constructing deposition chronologies for peat deposits using radiocarbon dating. *Mires and Peat* [online, open-access] 2011 vol. 7 art. 10, 1-14.
- Rakowski Andrzej Z., Nakamura Toshio, Pazdur Anna, Charro Elena, Gutierrez Villanueva Jose Luis, Piotrowska Natalia, 2010. Radiocarbon concentration in modern tree rings from Valladolid, Spain. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 268(7-8), 1110-1112.
- Rakowski Andrzej Z., Nadeau Marie-Josée, Nakamura Toshio, Pazdur Anna, Pawełczyk Sławomira, Piotrowska Natalia, 2013. Radiocarbon method in environmental monitoring of CO_2 emission. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 294, 503-507.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafflidason H., Hajdas I., Hatt C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55(4): 1869-1887.
- Sensuła Barbara, Böttger Tatjana, Pazdur Anna, Piotrowska Natalia, Wagner Ralf, 2006. Carbon and oxygen isotope composition of organic matter and carbonates in recent lacustrine sediments. *Geochronometria* 25: 77-94.
- Solow A. R., 2003. Characterizing the error in the estimated age-depth relationship. *Radiocarbon*, 45(3), 501-506.
- Telford R. J., Heegaard E., Birks H. J. B. 2004a. All age-depth models are wrong: but how badly? *Quaternary Science Reviews*, 23(1-2), 1-5.
- Telford R. J., Heegaard E., Birks H. J.B., 2004b. The intercept is a poor estimate of a calibrated radiocarbon age. *The Holocene*, 14, 296-298.
- Tudyka K., Pazdur A., 2010. Radiocarbon dating of peat profile with metallurgy industry evidence. *Geochronometria*, 35, 3-9.
- Tuniz C., Kutschera W., Fink D., Herzog G. F., Bird J. R., 1998. Accelerator Mass Spectrometry: Ultrasensitive Analysis for Global Science. CRC Press, 400 str. ISBN-13: 978-0849345388.
- Uścińowicz Szymon, Miotk-Szpiganowicz Grażyna, Galka Mariusz, Pawlyta Jacek, Piotrowska Natalia, Pomian Iwona, Witak Małgorzata, 2013. The rise, development and destruction of the medieval port of Puck in the light of research into palaeoclimate and sea level change. *Archaeologia Polona* t.49, Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa 2013, ISSN: 0066-5924.
- Vanneste Heleen, De Vleeschouwer François, Martinez-Cortizas Antonio, von Scheffer Clemens, Piotrowska Natalia, Coronato Andrea, Le Roux Gaël, 2015. Late-glacial elevated dust deposition linked to westerly wind shifts in southern South America. *Scientific Reports* 5:11670.
- Walanus A. 2008. Drawing the optimal depth-age curve on the basis of calibrated radiocarbon dates. *Geochronometria*, 31, 1-5.
- Yeloff D., Bennett K.D., Blaauw M., Mauquoy D., Sillasoo Ü., van der Plicht J., van Geel B., 2006. High precision ^{14}C dating of Holocene peat deposits: a comparison of Bayesian calibration and wiggle-matching approaches. *Quaternary Geochronology*, 1, 222-235.

