

ZAŁĄCZNIK 3A

AUTOREFERAT

PRZEDSTAWIAJĄCY DOROBK I OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE OKREŚLONE W 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

DR INŻ. SŁAWOMIRA PAWEŁCZYK
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
INSTYTUT FIZYKI - CENTRUM NAUKOWO-DYDAKTYCZNE
ZAKŁAD ZASTOSOWAŃ RADIOIZOTOPÓW
CENTRUM DOSKONAŁOŚCI GADAM

2019

1. IMIĘ I NAZWISKO

Sławomira Pawełczyk

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE/ ARTYSTYCZNE – Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ.

1997 – stopień magistra inżyniera na kierunku Fizyka Techniczna, w zakresie specjalności Fizyka Środowiska, z wynikiem bardzo dobrym, Wydział Matematyczno – Fizyczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Tytuł pracy magisterskiej: *„Pomiary koncentracji radiowęglu w przyrostach rocznych drzew z rejonu Górnego Śląska”*

Promotor: prof. dr hab. Anna Pazdur

1997 – Ukończenie Studium Doskonalenia Pedagogicznego, równoznaczne z uzyskaniem kwalifikacji pedagogicznych do pracy nauczycielskiej, organizowanego na Politechnice Śląskiej w Gliwicach, z wynikiem bardzo dobrym

2002 – stopień doktora nauk fizycznych, Wydział Matematyczno – Fizyczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Tytuł rozprawy doktorskiej: *„Badania zmian środowiska naturalnego na podstawie składu izotopowego węgla w rocznych przyrostach drzew”*

Promotor: prof. dr hab. Anna Pazdur

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH/ ARTYSTYCZNYCH.

Politechnika Śląska, Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne, Zakład Zastosowań Radioizotopów*, Gliwice:

1997 – 2003 asystent

od 2003 do chwili obecnej adiunkt

04.2003 – 01.2005 – urlop macierzyński i wychowawczy

05.2008 – 01.2010 – urlop macierzyński i wychowawczy

*Do 31 sierpnia 2010 roku nazwa jednostki, w której jestem zatrudniona brzmiała: Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno – Fizyczny, Instytut Fizyki, Zakład Zastosowań Radioizotopów.

4. 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. 2016 R. POZ. 882 ZE ZM. W DZ. U. Z 2016 R. POZ. 1311.):

A) TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO/ARTYSTYCZNEGO,

Zmiany klimatu i antropopresja zapisane w archiwach izotopowych przyrostów rocznych drzew

B) (AUTOR/AUTORZY, TYTUŁ/TYTUŁY PUBLIKACJI, ROK WYDANIA, NAZWA WYDAWNICTWA, RECENZENCI WYDAWNICZY),

Oznaczenie	Publikacje składające się na osiągnięcie habilitantki	Impact Factor (IF)	Punkty MNiSW	Cytowania (na dzień 08.02.2019)
B1	Szczepanek M., Pazdur, A., Pawełczyk S. , Böttger T., Haupt, M., Hałas S., Bednarz, Z., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E. 2006. Hydrogen, carbon and oxygen isotopes in pine and oak tree rings from Southern Poland as climatic indicators in years 1900 – 2003. <i>Geochronometria</i> 25: 67–76	0,667 ₂₀₀₇ ¹⁾	6 ₂₀₀₆ 20 ₂₀₀₇₋₂₀₁₀ ¹⁾	WoS 29 Sc 32 GS 40
B2	Treydte K. S., Frank D., Esper J., Andreu L., Bednarz Z., Berninger F., Boettger T., D’Alessandro C.M., Etien N., Filot M., Grabner M., Guillemin M.T., Guttierrez E., Haupt M., Helle G., Hiltunen E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krąpiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Masson-Delmotte V., Pazdur A., Pawełczyk S. , Pierre M., Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., Rinne K.T., Saracino A., Saurer M., Sonninen E., Stievenard M., Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krąpiec E., Todaro L., Waterhouse J.S., Weigl M., and Schleser G.H. 2007. Signal strength and climate calibration of a European tree ring isotope network. <i>Geophysical Research Letters</i> 34, L24302, doi:10.1029/2007GL031106.	2,744	24 (32*)	WoS 113 Sc 120 GS 144
B3	Pazdur A., Nakamura T., Pawełczyk S. , Pawlyta J., Piotrowska N., Rakowski A., Sensuła B., Szczepanek M. 2007. Carbon isotopes in tree rings: climate and the Suess effect interferences in the last 400 years. <i>Radiocarbon</i> 49(2): 775-788.	1,164	20 (32*)	WoS 23 Sc 27 GS 34

B4	Pawełczyk S. 2011 (2013). Isotopic measurements in tree rings for climate change investigation. <i>Archaeologia Polona</i> 49: 203-213.	Brak ²⁾	10	Brak danych
B5	Pawełczyk S. , Anna Pazdur, Sensuła B., Kaczka R. 2012. Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko. <i>Stud. Mater. Cent. Eduk. Przym.-Leś.</i> R. 14 z. 1 (30): 205-211.	Brak	5	Brak danych
B6	Pazdur A., Kuc T., Pawełczyk S. , Piotrowska N., Sensuła B., Różański K. 2013. Carbon Isotope Composition of Atmospheric Carbon Dioxide in Southern Poland: Imprint of Anthropogenic CO ₂ Emissions in Regional Biosphere. <i>Radiocarbon</i> 55(2/3): 848–864.	1,037	35 (40**)	WoS 13 Sc 13 GS 14
B7	Kłusek M., Pawełczyk S. 2014. Stable carbon isotope analysis of subfossil wood from Austrian Alps. <i>Geochronometria</i> 41 (4): 400-408.	0,723	25 (30**)	WoS 5 Sc 6 GS 7
B8	Frank D.C., Poulter B., Saurer M., Esper J., C. Huntingford C., Helle G., Treydte K.S., Zimmermann N.E., Schleser G.H., Ahlstrom A., Ciais P., Friedlingstein P., Levis S., M. Lomas M., Sitch S., Viovy N., Andreu-Hayles L., Bednarz Z., Berninger F., T. Boettger T., D'Alessandro C.M., Daux V., Filot M., M. Grabner M., Gutierrez E., Haupt M., Hiltunen E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krapiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Marah H., Masson-Delmotte V., Pazdur A., Pawełczyk S. , Pierre M., O. Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., K.T. Rinne K.T., Saracino A., Sonninen E., Stievenard M., V.R. Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krapiec E., L. Todaro L., J.S. Waterhouse J.S., Weigl M. 2015. Water use efficiency and transpiration across European forests during the anthropocene. <i>Nature Climate Change</i> 5 (6): 579-583.	17,184	50 (50**)	WoS 111 Sc 109 GS 136 <i>Według Web of Science ma status Highly Cited Paper</i>
B9	Kłusek M., Grabner M., Pawełczyk S. , Pawlyta J. 2019. An 1800-year stable carbon isotope chronology based on sub-fossil wood from Lake Schwarzensee, Austria.	2,375 ³⁾ (z 2017 roku);	40***	Brak

	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 514: 65–76; doi:10.1016/j.palaeo.2018.10.003.			
Podsumowanie		25,227⁴	215⁵⁾ 245⁶⁾	WoS 294 Sc 307 GS 375

¹⁾ czasopismo z listy JRC od 2005 roku, w 2006 nie posiadało jeszcze wskaźnika *Impact Factor* (IF); punkty MNiSW: 6 (lista 2005-2006), na ujednoliconej liście za lata 2007-2010 ma już 20 punktów

²⁾ Czasopismo znajdujące się w bazie *European Reference Index for the Humanities* (ERIH)

*- punktacja MNiSW za lata 2007-2010

** - punktacja MNiSW za lata 2013-2016

*** - punktacja MNiSW za lata 2013-2016, gdyż dla roku 2019 brak danych o punktacji

³⁾ IF z 2017 roku z powodu braku dla lat 2018 i 2019

⁴⁾ Sumaryczny IF z pominięciem IF dla B1 i uwzględnieniem IF dla B9 z 2017 roku

⁵⁾ Suma punktów według list MNiSW z poszczególnych lat z uwzględnieniem dla B9 punktacji z lat 2013-2016

⁶⁾ Suma punktów według list MNiSW z 2006 oraz ujednoliconych list za lata 2007-2010 i 2013-2016 z uwzględnieniem dla B9 punktacji za lata 2013-2016

WoS – *Web of Science*

Sc – *Scopus*

GS – *Google Scholar*

C) OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO/ARTYSTYCZNEGO WW. PRACY/PRAĆ I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA.

Celem prac badawczych, których wyniki zawierają powyższe publikacje, jest wykorzystanie jako źródła informacji o zmianach klimatu oraz o wpływie człowieka na środowisko w przeszłości zmian względnej zawartości lekkich izotopów stabilnych (¹³C, ¹⁸O i ²H) oraz radiowęglu (izotopu ¹⁴C) w rocznych przyrostach drzew. Szczególnie został wzięty pod uwagę okres ostatnich 100 lat, charakteryzujący się najintensywniejszymi zmianami środowiska związanymi z ludzką działalnością.

1. WPROWADZENIE DO TEMATYKI BADAWCZEJ

Monitorowanie stanu środowiska, rekonstrukcje ekologiczne i klimatyczne oraz tworzenie prognoz jest możliwe między innymi dzięki wykorzystaniu metod izotopowych, które w ostatnich latach są coraz powszechniej stosowane i rozwijane. Dane izotopowe pozyskiwane są z różnych archiwów, takich jak rdzenie lodowe, osady jeziorne, korale, wody gruntowe i materia organiczna. Drewno pochodzące z przyrostów drzew jest doskonałym materiałem badawczym ze względu na powszechność występowania drzew i wynikającą ze struktury przyrostów roczną (a czasem sezonową) rozdzielczość czasową badań. Wykorzystanie materii organicznej drzew pozwala badać nie tylko stan obecny środowiska, ale również jest źródłem informacji o przeszłości (Pawełczyk i in., 2012). W badaniach wykorzystywane jest nie tylko drewno z żyjących drzew, ale również drewno pochodzące z budowli, wykopalisk archeologicznych, jak również z powalonych drzew, które dobrze zachowało się w bagnach, płytkich jeziorach i żwirze rzeczonym. Zastosowanie metody dendrochronologicznej opierającej się na zjawisku zmiany szerokości przyrostów rocznych drzewa pod wpływem warunków klimatycznych pozwoliło na stworzenie dla obszaru Europy północnej ponad 7000-letniej chronologii dla sosny,

a w Irlandii, Wielkiej Brytanii i kontynentalnej Europie ponad 8000-letniej chronologii dla dębu (McCarroll i Loader, 2004).

Drzewo do tworzenia materii organicznej wykorzystuje w głównej mierze dwutlenek węgla pobierany z atmosfery, zawierający izotopy węgla i tlenu, oraz wodę pochodzącą z wód gruntowych, zawierającą izotopy tlenu i wodoru. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że roślina modyfikuje skład izotopowy pobranego węgla, tlenu i wodoru w reakcjach chemicznych zachodzących w procesach fizjologicznych oraz podczas reakcji na zmiany środowiska, w którym żyje. Umożliwia to zastosowanie spektrometrii mas (metody IRMS – *Isotope Ratio Mass Spectrometry*) do wyznaczania stosunków izotopowych pierwiastków $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ oraz akceleratorowej spektrometrii mas (tzw. metody AMS – *Accelerator Mass Spectrometry*) do pomiaru $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, gdzie stosunki izotopowe odzwierciedlają panujące warunki środowiskowe. Każdy przyrost roczny stanowi zatem archiwum izotopowe informacji o środowisku, w jakim ten słój był tworzony. W ostatnich latach stosunki stabilnych izotopów węgla, tlenu i wodoru wyznaczone w przyrostach drzew stały się ważnymi narzędziami w dziedzinie badań globalnych i lokalnych zmian klimatu i środowiska. Również pomiary koncentracji radiowęglu w drewnie i jego składnikach pozwalają na ocenę emisji CO_2 ze spalania paliw kopalnych.

1.1. Izotopy

Wszystkie trzy główne pierwiastki występujące w drewnie: węgiel, tlen i wodór mają więcej niż jeden izotop. Izotopy tego samego pierwiastka na ogół mają zbliżone własności fizyczne i chemiczne. Skład izotopowy pierwiastka wyraża się przy pomocy wielkości δ zdefiniowanej jako względna różnica pomiędzy stosunkiem izotopowym w próbce i we wzorcu wyrażona w promilach. Skład izotopowy pierwiastka X , który zawiera dwa izotopy: cięższy iX i lżejszy jX , których stężenie w próbce wynosi odpowiednio: $[^iX]_{\text{próbka}}$ i $[^jX]_{\text{próbka}}$, wyraża się zwykle wzorem:

$$\delta^iX = \frac{R_{\text{próbka}} - R_{\text{wzorzec}}}{R_{\text{wzorzec}}} \cdot 1000\text{‰}, \quad (1.1)$$

gdzie:

X – symbol chemiczny pierwiastka,

i – liczba masowa izotopu cięższego,

$R = \frac{[^iX]}{[^jX]}$ – stosunek stężenia izotopu cięższego do lżejszego odpowiednio w próbce lub wzorcu

(np. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$),

j – liczba masowa izotopu lżejszego.

Wzorcami są materiały o znanym składzie izotopowym w stosunku do międzynarodowych standardów, którymi obecnie są: VPDB (*Vienna Peedee belemnite*) w przypadku węgla oraz VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*) w przypadku tlenu i wodoru (Bond i Hobson, 2012; Polański, 1979).

1.2. Frakcjonowanie izotopowe

Niewielkie różnice we własnościach molekuł o różnym składzie izotopowym prowadzą jednak do tzw. frakcjonowania izotopowego w reakcjach chemicznych, procesach transportu i procesach zmiany fazy. W związku z tym w naturze można obserwować różne względne stężenia izotopów danego pierwiastka w zależności od formy i miejsca jego występowania.

1.2.1. Frakcjonowanie izotopów węgla

Historia badań stosunków stabilnych izotopów w przyrodzie jest dosyć długa. Nier i Gulbransen w pracy opublikowanej w 1939 roku zauważyli różnice stosunku izotopowego $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ w różnych rezerwuarach uczestniczących w obiegu węgla. Nieco później, bo w 1947 roku, Urey wykazał, że izotopowe zmiany między rezerwuarami są konsekwencją różnic w chemicznych i fizycznych własnościach różniących się izotopowo cząsteczek. Zasugerował on, jako pierwszy, możliwość istnienia sygnałów klimatycznych w wartościach $\delta^{13}\text{C}$. Craig (1954) zauważył związek między stosunkiem izotopów stabilnych węgla a wilgotnością. W pracach wielu innych badaczy rozważane były różne aspekty zmian stosunku izotopowego $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ w materii organicznej. Z przeprowadzonych badań wynika, że jednym z istotnych etapów obiegu węgla, który przyczynia do zmiany stosunku izotopowego $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ materii organicznej jest wiązanie węgla podczas fotosyntezy przez rośliny lądowe i morskie (Craig 1954; Wickman 1956; Park i Epstein 1960; Switsur i Waterhouse 1998; Pawełczyk i in., 2012). Dla roślin reprezentujących typ fotosyntezy C_3 (szlak kwasów trójwęglowych), do których zalicza się drzewa, $\delta^{13}\text{C}$ ma wartości z zakresu: $-23 \div -34\text{‰}$ (Schidlowski 1995). Przyczyną zubożenia tkanek roślinnych w izotop ^{13}C w stosunku do atmosferycznego CO_2 , dla którego wartość $\delta^{13}\text{C}$ wynosi około -8‰ , są efekty kinetyczne (Deines i in., 1980). Związane są one z różnicą mas izotopów i powodują występowanie niewielkich różnic w reaktywności chemicznej różnych izotopów. Cięższe izotopowo molekuly mają mniejszą mobilność i generalnie większe energie wiązania. Jednym z szeroko stosowanych modeli zaproponowanych do wyjaśnienia zmian stosunków izotopowych w przyrostach rocznych drzew jest model opisany przez Farquhara i in. (1982) oraz Franceya i Farquhara (1982). Według tego modelu, podczas wnikania przez szparkę liścia, skład izotopowy atmosferycznego CO_2 jest modyfikowany w zjawisku dyfuzji. Molekuly CO_2 zawierające lżejsze izotopy dyfundują łatwiej niż te zawierające izotopy cięższe. Drugi etap frakcjonowania węgla jest związany z działaniem enzymów w procesie karboksylacji (głównie RuBisCO – karboksylazy/oksygenazy rybulozo-1,5-bisfosforanu). Procesy biologiczne mają tendencję do preferencyjnego używania lżejszego izotopu węgla (Pawełczyk i in., 2012).

Frakcjonowanie izotopowe węgla ($\Delta^{13}\text{C}$) dla roślin wyraża się wzorem:

$$\Delta^{13}\text{C} = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{atmosfera}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{roślina}})}{(1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{roślina}}/1000)}, \quad (1.2)$$

gdzie:

$\delta^{13}\text{C}_{\text{roślina}}$ – $\delta^{13}\text{C}$ w tkance roślinnej,

$\delta^{13}\text{C}_{\text{atmosfera}}$ – $\delta^{13}\text{C}$ atmosferycznego CO_2 .

Zgodnie z modelem zaproponowanym przez Farquhara i in. (1982) $\Delta^{13}\text{C}$ dla roślin C_3 można również przedstawić wzorem:

$$\Delta^{13}\text{C} = a + (b - a) \frac{c_i}{c_a}, \quad (1.3)$$

gdzie:

a – frakcjonowanie podczas dyfuzji przez szparkę ($\approx 4.4 \text{‰}$),

b – frakcjonowanie podczas procesu karboksylacji ($\approx 27 \text{‰}$),

c_i – koncentracja CO_2 w przestrzeniach międzykomórkowych liścia,

c_a – koncentracja CO₂ w atmosferze,
 $\Delta^{13}C$ – frakcjonowanie w procesie fotosyntezy.

Cukry będące produktem fotosyntezy są używane przez rośliny do tworzenia ich różnych składników, co prowadzi do dalszego frakcjonowania. Przykładowo celuloza i lignina mają zawsze niższe wartości $\delta^{13}C$ niż cukry w liściach drzew (McCarroll i Loader, 2004).

Czynniki a i b zasadniczo nie zmieniają się w odpowiedzi na zmiany klimatu, z wyjątkiem ekstremalnych warunków (McCarroll i Loader, 2004). Również koncentrację CO₂ w atmosferze (c_a) dla przedindustrialnego holocenu można uznać za wartość stałą. W związku z tym wyniki pomiarów stosunków stabilnych izotopów węgla w przyrostach rocznych drzew stanowią przede wszystkim zapis zmian w koncentracji CO₂ w przestrzeniach międzykomórkowych liścia (c_i). Koncentracja dwutlenku węgla w liściach jest regulowana przez dwa procesy: przewodność szparkową (g) oraz szybkość asymilacji (A). Procesy te podlegają zmianom w odpowiedzi na zmiany czynników środowiska kontrolujących ich przebieg takich jak: wilgotność względna, temperatura, czy też niedobór wilgoci w glebie. Z tego względu stosunek izotopów stabilnych węgla w materii organicznej drzew może być odzwierciedleniem tych czynników klimatycznych, które wpływają na przewodność szparkową oraz/lub szybkość asymilacji. Sygnał klimatyczny jest zwykle zdominowany przez reakcję przewodności szparkowej lub szybkości asymilacji na zmiany klimatu, w związku z tym ta sama wartość $\delta^{13}C$ może wynikać z wpływu różnych czynników klimatycznych w różnych lokalizacjach (Saurer i Siegwolf, 2007). Zatem nie tylko efekty kinetyczne wpływają na wartości $\delta^{13}C$ w tkankach roślinnych. Zapas dwutlenku węgla wykorzystywanego w procesie fotosyntezy jest regulowany przez aparaty szparkowe. Otwarcie szparek jest związane z warunkami środowiskowymi i szkodliwą dla rośliny stratą wody w wyniku transpiracji. Dyfuzja CO₂ i utrata wody są ze sobą powiązane. W warunkach ciepłych i suchych, kiedy szparki są zamknięte i nie jest możliwa dyfuzja (spadek przewodności szparkowej – g), enzymy przyspieszają włączenie w cykl przemian biochemicznych również cięższego izotopu węgla ¹³C. Prowadzi to do wzbogacenia materii organicznej w izotop cięższy, czyli wartości $\delta^{13}C$ stają się mniej ujemne (Switsur i Waterhouse 1998; Pawełczyk i in., 2012). Do wzbogacenia materii organicznej w izotop cięższy może także dojść w sytuacji, kiedy jest słonecznie, chłodno i wilgotno. Wówczas wzrasta szybkość asymilacji, co prowadzi do obniżenia CO₂ w przestrzeniach międzykomórkowych (c_i) i włączenia w cykl przemian biochemicznych większej ilości izotopu cięższego ¹³C. Wiele przeprowadzonych badań potwierdza, że dla przyrostów drzew można zaobserwować korelację $\delta^{13}C$ z temperaturą miesięcy letnich (McCarroll i Loader, 2004).

Do oceny wpływu człowieka na środowisko często wykorzystuje się rzeczywistą efektywność wykorzystania wody iWUE (*intrinsic water-use efficiency*). Aparaty szparkowe mają tendencję do zamykania się przy podwyższonej koncentracji CO₂, co również wpływa na transpirację wody. Rzeczywista efektywność wykorzystania wody (iWUE) jest definiowana jako stosunek szybkości asymilacji pobieranego CO₂ (A) do przewodności liścia dla pary wodnej (g_w). Przewodność szparkowa dla wody (g_{CO_2}) jest 1,6 razy większa niż dla CO₂. Stąd wynika, że:

$$iWUE = \frac{A}{g_w} = \frac{A}{1,6 \cdot g_{CO_2}} \quad (1.4)$$

Zastosowanie prawa Fick'a:

$$A = g_{CO_2} \cdot (c_a - c_i) \quad (1.5)$$

pozwała obliczyć iWUE w chwili produkcji biomasy w oparciu o wzór:

$$iWUE = \frac{c_a - c_i}{1,6}, \quad (1.6)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze 1.3.

Wartość koncentracji CO₂ w przestrzeniach międzykomórkowych liścia (c_i) można wyznaczyć na podstawie pomiarów $\delta^{13}C$ w materii organicznej roślin w oparciu o wzory 1.2 i 1.3:

$$c_i = c_a \left[\frac{(\delta^{13}C_{roślina} - \delta^{13}C_{atmosfera} + a)}{(b - a)} - a \right]. \quad (1.7)$$

Potrzebne do wyznaczenia koncentracji CO₂ w przestrzeniach międzykomórkowych liścia (c_i) wartości $\delta^{13}C$ dla atmosfery oraz koncentracje CO₂ w atmosferze (c_a) można pozyskać na podstawie danych zmierzonych dla antarktycznych rdzeni lodowych.

Dla wielu stanowisk badawczych można obserwować wzrost iWUE w XX wieku (Ehleringer i Vogel, 1993; McCarroll i Loader, 2004; Silva i Horwath, 2013; Huang i in, 2017; Frank i in., 2015).

1.2.2. Frakcjonowanie izotopów tlenu i wodoru

Do życia roślin i prowadzenia przez nie procesu fotosyntezy niezbędna jest woda. Epstein i in. (1977) jako pierwsi zauważyli możliwość wykorzystania prac dotyczących stosunków izotopów stabilnych w opadach (Dansgaard, 1964) do spojrzenia na zarchiwizowane w przyrostach rocznych drzew izotopy tlenu i wodoru. Liczne prace badawcze potwierdziły, że skład izotopowy przyrostów rocznych ($\delta^{18}O$ i δ^2H) można uznać za cenne źródło informacji w rekonstrukcjach składu izotopowego wody, która była przez roślinę wykorzystywana w procesach życiowych, tj. wody gruntowej pochodzącej z opadów. Skład izotopowy opadów atmosferycznych zróżnicowany jest przestrzennie i czasowo. Związane jest to z frakcjonowaniem izotopowym towarzyszącym procesom parowania z oceanu i kondensacji podczas transportu pary wodnej. Można powiedzieć, że skład izotopowy wód zawartych w glebie generalnie odzwierciedla średnią ważoną opadów dla badanego obszaru (Różański i in., 1997). W przypadku badania przyrostów rocznych drzew izotopowa charakterystyka opadów wyrażona poprzez $\delta^{18}O$ i δ^2H jest modyfikowana podczas szeregu złożonych procesów prowadzących do powstania drewna, które są zależne od warunków środowiskowych. Należy zwrócić uwagę, że współczynniki frakcjonowania są różne dla tlenu i wodoru, ale do rozważań o tych izotopach można zastosować ten sam model frakcjonowania (McCarroll i Loader 2004). W czasie pobierania wody gruntowej przez system korzeniowy nie występuje wyraźne frakcjonowanie. Istotne frakcjonowanie można obserwować w reakcjach chemicznych zachodzących w liściach. W konsekwencji $\delta^{18}O$ i δ^2H w tkankach roślinnych odzwierciedlają: (1) zmienność składu izotopowego źródła wody, (2) wzbogacenie wody w izotopy cięższe w liściu spowodowane transpiracją, oraz (3) biochemiczne frakcjonowanie podczas syntezy materii organicznej (Ferrio i in. 2005; Roden i in. 2000; Pawełczyk i in, 2012). Zarówno woda, jak i dwutlenek węgla dostarczają atomy tlenu do metabolizmu węglowodanów przez rośliny, jednak tlen pochodzący z CO₂ jest wymieniany całkowicie z wodą przed syntezą węglowodanów (DeNiro i Epstein, 1979).

Przykładowo, wartość $\delta^{18}O$ w celulozie przyrostów drzew w oparciu o model zaproponowany przez Dongmanna i in. (1974), zmodyfikowany przez Aucour i in. (1996), można zapisać jako (Anderson i in., 2002):

$$\delta^{18}O_{\text{celuloza}} = (1 - f)[\varepsilon_e + \varepsilon_k(1 - h) + h\delta_{\text{atm}} + (1 - h)\delta_{\text{SW}}] + f\delta_{\text{SW}} + \varepsilon_{\text{bi och}}, \quad (1.8)$$

gdzie:

f – ułamek wody nie podlegający parowaniu,

ε_e – współczynnik równowagowy frakcjonowania ciecz-para dla wody,

ε_k – współczynnik frakcjonowania kinetycznego ciecz-para dla wody zależny od dynamiki przepływu powietrza w warstwie granicznej liści,

h – względna wilgotność,

δ_{sw} – skład izotopowy źródła wody, to jest wody gruntowej pochodzącej z opadów,

δ_{atm} – skład izotopowy pary wodnej,

$\varepsilon_{\text{bi och}}$ – współczynnik frakcjonowania biologicznego ($27 \pm 3\%$).

1.3. Zmiany składu izotopowego spowodowane czynnikami antropogenicznymi

1.3.1. Izotopy stabilne a antropopresja

Intensywny rozwój przemysłu, który rozpoczął się w XIX wieku, pociąga za sobą duże zapotrzebowanie na energię. Wiąże się to ze wzrostem wydobycia i spalania paliw kopalnych. Wartości $\delta^{13}C$ dla dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych są niższe niż dla atmosferycznego CO_2 , ponieważ złoża paliw kopalnych powstały z materii organicznej, w której węgiel podlegał procesowi frakcjonowania. Przykładowo, wartość $\delta^{13}C$ dla węgla kamiennego wynosi około $-24\% \div -28\%$ (Warwick i Ruppert, 2016), natomiast dla gazu ziemnego $-40 \div -44\%$ (Djuricin i in., 2010). Obecnie wartości $\delta^{13}C$ atmosferycznego CO_2 są o około $1,5\%$ niższe niż w okresie przed industrializacją, kiedy to $\delta^{13}C$ wynosiła około $-6,4\%$. Rośliny wykorzystują pobrany w procesie fotosyntezy CO_2 do tworzenia materii organicznej i z tego względu zmiany $\delta^{13}C$ mierzone w drewnie dobrze odzwierciedlają trend zmian $\delta^{13}C$ atmosferycznego CO_2 . W interpretacjach klimatycznych istotne jest zatem usunięcie trendu związanego z działalnością człowieka. W literaturze można spotkać różne metody usunięcia tego trendu. Jeden z powszechnie stosowanych sposobów wykorzystuje wartości $\delta^{13}C$ w antarktycznych rdzeniach lodowych jako dane do korekty (McCarroll, 2004). Oprócz efektu globalnego zmian $\delta^{13}C$ atmosferycznego CO_2 , dla wielu obszarów na Ziemi, zwłaszcza tych poddanych najsilniejszej antropopresji, można obserwować również trend lokalny. Oddzielenie sygnału klimatycznego od antropogenicznego jest często bardzo trudne, niemniej podejmowane są takie próby (Pawełczyk i in., 2004; Pazdur i in., 2013, Pawełczyk i in., 2012).

Freyer (1979), który porównał wartości $\delta^{13}C$ w przyrostach rocznych drzew z obszaru kontrolnego, o mniejszym zanieczyszczeniu, i z obszaru silniej zanieczyszczonego zasugerował, że na wartości $\delta^{13}C$ w przyrostach rocznych ma wpływ nie tylko wartość $\delta^{13}C$ atmosferycznego CO_2 , ale również inne zanieczyszczenia obecne w atmosferze (zwłaszcza SO_2), które modyfikują różnicowanie składu izotopowego poprzez zmianę stosunku c_i/c_o podczas fotosyntezy. W szczególności zwiększenie koncentracji atmosferycznego CO_2 może powodować zamknięcie szparek z powodu wzrostu koncentracji CO_2 w przestrzeniach międzykomórkowych liścia, co prowadzi do mniejszego różnicowania izotopów, a co za tym idzie wzrostu wartości $\delta^{13}C$ w przyrostach rocznych. To z kolei

może w pewnym stopniu maskować efekt związany z pobieraniem przez rośliny dwutlenku węgla o zaniżonych wartościach $\delta^{13}\text{C}$, spowodowanych spalaniem paliw kopalnych. Późniejsze liczne badania wykazały wpływ zanieczyszczeń takich jak: SO_2 , NO_x czy też O_3 na wartości $\delta^{13}\text{C}$ w przyrostach rocznych drzew. Chociaż fizjologiczne mechanizmy wpływu tych zanieczyszczeń na proces fotosyntezy są różne, to wzrost stężenia tych zanieczyszczeń prowadzi do wzrostu wartości $\delta^{13}\text{C}$ poprzez obniżenie przewodności szparek lub zwiększenie szybkości karboksylacji. Tymczasem kwaśne deszcze mogą prowadzić do obniżenia $\delta^{13}\text{C}$ poprzez hamowanie procesu karboksylacji spowodowane degradacją chlorofilu (Choi i Lee, 2012). Widać zatem wyraźnie, że zanieczyszczenia powietrza mogą zmieniać wartości $\delta^{13}\text{C}$ poprzez wpływanie na rozróżnianie izotopów węgla (Battipaglia i inni, 2010). Czynniki środowiskowe, które wpływają na wartości stosunków izotopowych, niekiedy nakładają się. Ich rozdzielenie jest zadaniem bardzo trudnym. Na przykład zwiększonej emisji CO_2 często towarzyszy wzrost emisji SO_2 . Jak wcześniej wspomniano, wzrost emisji CO_2 ze spalania paliw kopalnych powoduje generalnie zaniżenie wartości $\delta^{13}\text{C}$, a wzrost emisji SO_2 jest przyczyną wzrostu wartości $\delta^{13}\text{C}$.

1.3.2. Radiowęgiel a antropopresja – efekt Suessa

Dzięki temu, że frakcjonowanie dla radiowęgla węgla jest dwukrotnie większe niż dla izotopu ^{13}C (Craig, 1954), koncentrację radiowęgla w danym materiale można znormalizować ze względu na frakcjonowanie izotopowe, mierząc wartości $\delta^{13}\text{C}$ w badanym materiale i wykorzystując wzór:

$$\left(^{14}\text{C}/^{12}\text{C}\right)_{norm} = \left(^{14}\text{C}/^{12}\text{C}\right) \cdot \left(1 - \frac{2(\delta^{13}\text{C} + 25)}{1000}\right), \quad (1.9)$$

gdzie: -25‰ jest wartością $\delta^{13}\text{C}$ standardu aktywności współczesnej biosfery.

Znormalizowaną, względną koncentrację radiowęgla w badanej próbce materii podaje się w postaci wartości $\Delta^{14}\text{C}$, zdefiniowanej jako (Stuiver i Polach, 1977):

$$\Delta^{14}\text{C} = \left(\frac{\left(^{14}\text{C}/^{12}\text{C}\right)_{norm}}{\left(^{14}\text{C}/^{12}\text{C}\right)_{NBS}} - 1\right) \cdot 1000\text{‰} = \delta^{14}\text{C} - 2(\delta^{13}\text{C} + 25) \left(1 + \frac{\delta^{14}\text{C}}{1000}\right), \quad (1.10)$$

gdzie: NBS – standard współczesnej biosfery.

Działalność przemysłowa człowieka i związana z nią emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, jest powodem zaniżenia koncentracji radiowęgla w atmosferycznym CO_2 . Dzieje się tak dlatego, ponieważ radiowęgiel w paliwach kopalnych jest nieobecny. Związane jest to ze znacznym czasem jaki upłynął od chwili powstania złóż paliw kopalnych (miliony lat) w porównaniu z czasem połowicznego rozpadu izotopu węgla ^{14}C ($T_{1/2} = 5730$ lat). Poprzez procesy wymiany węgla, ulega również modyfikacji koncentracja izotopu ^{14}C w innych rezerwuarach węgla na Ziemi, a efekt ten można również zaobserwować w rocznych przyrostach drzew. Efekt zaniżenia koncentracji radiowęgla w atmosferycznym CO_2 nosi w literaturze miano efektu Suessa. Lokalny efekt Suessa (lokalny efekt Suessa) można zaobserwować na obszarach, na których występuje znaczna emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, a warunki klimatyczne, czy też ukształtowanie terenu uniemożliwiają szybkie mieszanie i wymianę mas powietrza. Efekty takie obserwuje się na obszarach silnie uprzemysłowionych i zurbanizowanych (Pazdur i in., 2007; Rakowski, 2011). Efekt Suessa często bywa opisywany poprzez wielkość ^{14}S (Keeling, 1979; Awiuk i Pazdur, 1986; Rakowski i in. 2001):

$$^{14}S = \frac{\Delta^{14}C - \Delta^{14}C_{tlo}}{\Delta^{14}C_{tlo} + 100} 100\%, \quad (1.11)$$

gdzie:

$\Delta^{14}C_{tlo}$ - koncentracja radiowęglu dla „czystego powietrza”

$\Delta^{14}C$ – koncentracja radiowęglu dla badanego obszaru.

1.4. Materiał badawczy

Prace wchodzące w skład osiągnięcia prezentują wyniki analiz izotopowych otrzymanych dla różnych stanowisk badawczych charakteryzujących się swoistymi cechami klimatu i zróżnicowanym stopniem antropopresji. Badania objęły rejon Suwałk, Puszcę Niepołomicką (Projekt UE: ISONET – 400 years of Annual Reconstructions of European Climate Variability using a High Resolution Isotopic Network), obszar Tatr (projekt NCN: Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko dla obszarów górskich Europy Środkowej) oraz rejon Gór Dachstein będących częścią Alp Wapiennych (projekt finansowany przez FWF *Austrian Science Fund: Tree-ring climate reconstruction – continuation*).

Bardzo istotnym elementem w prowadzonych badaniach izotopowych był odpowiedni dobór materiału badawczego, który miał być reprezentatywny dla danego stanowiska. Wykonane prace badawcze wymagały ścisłej współpracy z dendrochronologami już na etapie wyboru stanowisk badawczych i poboru próbek do badań izotopowych. Prace terenowe polegały na pobraniu odwiertów świdrem rdzeniującym Presslera. Następnie dla każdego stanowiska tworzona była chronologia. Szczególnie istotna była ocena siły sygnału w powstałej dla danego stanowiska chronologii. Wykorzystano w tym celu szeroko stosowany parametr EPS (*Expressed Population Signal*), który opiera się na średniej korelacji między wszystkimi seriami (drzewami) zawartymi w chronologii. Wigley (1984) zasugerował, że wartość $EPS \geq 0,85$ zapewnia wystarczającą siłę sygnału dla chronologii. Dostępne dane sugerują (Robertson i in., 1997; McCarroll i Pawellek, 1998), że sygnał w danych izotopowych przyrostów rocznych drzew jest mocniejszy niż uzyskany z szerokości przyrostów rocznych, czy też gęstości, więc potrzebnych jest mniej drzew (zwykle 4 lub 5).

W praktyce, w większości prowadzonych badań składu izotopowego przyrostów rocznych zmierzających do opracowania izotopowej chronologii jakiegoś stanowiska co najmniej 4 drzewa tego samego gatunku były wybierane w oparciu o analizy dendrochronologiczne. Pobierano zazwyczaj z każdego drzewa 4 odwierty (Leavitt and Long, 1984). Odwierty były najpierw dzielone na pojedyncze przyrosty roczne. Następnie próbki reprezentujące poszczególne lata zostały rozdrobione i zmieszane równowagowo celem homogenizacji. Do pomiarów izotopowych wykorzystywany był materiał pochodzący z kilku drzew, aby wyeliminować różnice między składem izotopowym drzew rosnących na tym samym stanowisku. Wyraża się ona zazwyczaj bardziej w różnicach absolutnych wartości, niż różnicach trendów. Różnorodność ta może wynikać z wpływu niewielkich różnic mikrośrodowiska lub jest prawdopodobnie związana z genetycznymi różnicami między drzewami. Zakres zmian wartości $\delta^{13}C$ między pojedynczymi drzewami wynosi zazwyczaj 2–3‰ (Leavitt 1993). Pomiary izotopowe dla próbek otrzymanych w wyniku zmieszania drewna z różnych drzew przed preparatyką chemiczną i pomiarem dają podobne wyniki jak uśrednione pomiary wykonane dla poszczególnych drzew z danego stanowiska. Należy podkreślić, że pomiary dla poszczególnych drzew są znacznie bardziej czasochłonne i kosztowne (Treydte i in, 2001).

Wyniki analizy stosunków stabilnych izotopów węgla i tlenu w próbkach całości drewna dają mniej czytelny sygnał niż te same analizy w próbkach α -celulozy. Głównymi składnikami drewna są celuloza i lignina, których zawartość procentowa nie jest stała i które charakteryzują się różnym składem izotopowym. Poza tym składniki drewna odkładają się z różną szybkością po początkowym rozwoju ścian komórkowych. Otrzymywana w wyniku ekstrakcji α -celuloza charakteryzuje się izotopową homogenicznością (McCarroll i Loader, 2004). W przypadku części badań, przed ekstrakcją α -celulozy stosowana była destylacja drewna w aparacie Soxhleta celem usunięcia niepożądanych składników, na przykład żywic, które mogą w drewnie migrować i mogłyby zakłócić otrzymywany w wyniku pomiarów spektrometrycznych sygnał klimatyczny i środowiskowy. Rinne i in. (2005) wykazali, że w przypadku drewna sosny ekstrakcja celulozy z zastosowaniem chlorynu sodowego i wodorotlenku sodowego usuwa również żywicę. Stosowana w przypadku moich badań ekstrakcja α -celulozy opierała się na metodzie Greena (1963) i dodatkowo do ekstrakcji wykorzystywana była łaźnia ultradźwiękowa (Loader i in., 1997; Pawełczyk i inni 2004). Zasadę otrzymywania α -celulozy z próbek drewna można w skrócie przedstawić następująco: drewno było poddawane działaniu chlorynu sodowego i kwasu octowego, do otrzymanej w ten sposób holocelulozy był następnie dodawany wodorotlenek sodu i ostatecznie w wyniku tych działań otrzymywana była α -celuloza, którą należało bardzo starannie wyplukać do odczynu obojętnego i wysuszyć.

W przypadku pomiarów stosunków izotopów stabilnych wodoru konieczne było nitrowanie celulozy (Alexander i Mittchel, 1949; Gray i Song, 1984; Boettger i in., 2007), czego efektem była wykorzystywana w badaniach nitroceluloza. Celuloza zawiera: 70% wodoru związanego z węglem (wiązania C-H), który jest izotopowo niewymienialny oraz 30% wymienialnego wodoru w formie grup hydroksylowych (wiązanie O-H). Chcąc uniknąć wymienialnego wodoru do każdej reszty glukozy dołączone są grupy NO_2 . Nitroceluloza jest materiałem silnie wybuchowym. Są również inne metody pomiaru stosunków stabilnych izotopów wodoru w celulozie, jak na przykład metody bazujące na reakcji wymiany wodoru między celulozą a wodą (zwane metodami równoważenia), w których to równoważenie może następować *on-line* lub *off-line*. Metoda równoważenia *off-line* (Feng i in., 1993) jest stosunkowo skomplikowana, a metoda *on-line* została przetestowana dopiero w ramach projektu ISONET (Filot i in., 2006). Jednak do dnia dzisiejszego skomplikowanie metod równoważenia oraz wybuchowość nitrocelulozy prowadzą do małej ilości publikowanych wyników związanych z pomiarami $\delta^2\text{H}$ w drewnie.

W przypadku pomiaru koncentracji radiowęglu z próbki α -celulozy lub drewna otrzymywany był grafit (metod AMS – Piotrowska, 2013) lub benzen (metoda ciekłoscyntylacyjna – Pawłyta i in., 1998).

1.5. Pomiary przy użyciu spektrometrii masowej

1.5.1. Pomiary przy użyciu spektrometrii masowej IRMS

Stosunki stabilnych izotopów w próbkach organicznych zostały wyznaczone z zastosowaniem spektrometrii mas (*Isotope Ratio Mass Spectrometry* – IRMS). Badania były przeprowadzane w różnych ośrodkach dysponujących różnymi urządzeniami badawczymi – spektrometrami. Zasada działania tych spektrometrów była w zasadzie taka sama. Próbka w stanie gazowym podlegała jonizacji, a następnie jony o różnych masach były separowane w polu magnetycznym. Urządzenia działające w trybie przepływu ciągłego (*continuous flow*) połączone bezpośrednio z analizatorem elementarnym pozwalały na tzw. *on-line* przygotowanie próbek, to znaczy próbki były spalane w analizatorze elementarnym bezpośrednio przed pomiarem. W przypadku pomiarów przeprowadzonych w Zakładzie Spektrometrii

Mas w Lublinie próbki należało najpierw spalić, a następnie wprowadzić bezpośrednio do spektrometru działającego w systemie *dual inlet* (metoda *off-line*).

Pomiary $\delta^{13}\text{C}$ oraz $\delta^{18}\text{O}$ w Gliwickim Laboratorium Spektrometrii Mas zostały wykonane przy użyciu spektrometru masowego IsoPrime (GV Instrument), pracującego w trybie przepływu ciągłego (EA-CF-IRMS), połączonego bezpośrednio z analizatorem elementarnym EuroVector. Cały system jest nowoczesnym urządzeniem pozwalającym uzyskać dużą precyzję pomiarów lekkich izotopów stabilnych. Procedura laboratoryjna obejmuje kalibrację systemu, to znaczy pomiar tła, testy stabilności, jak również test liniowości przed każdą serią pomiarową. Jest to procedura czasochłonna, lecz zapewnia ona dużą precyzję pomiarów. Dla każdej próbki α -celulozy osobnej analizie poddawane były 3 podpróbki, co pozwalało określić wartość średnią stosunków izotopów stabilnych oraz niepewność pomiarową. Każda seria pomiarowa obejmowała również pomiar stosunków stabilnych izotopów dla standardów celem wyrażenia zmierzonych wartości w skali VPDB lub VSMOW oraz w celu sprawdzenia poprawności działania systemu. Dokładność metody pomiarowej podawana przez producenta sprzętu wynosi 0,1‰ dla $\delta^{13}\text{C}$ oraz 0,3‰ dla $\delta^{18}\text{O}$. Rozrzuty wyników opisane poprzez odchylenie standardowe dla 3 podpróbek był zazwyczaj mniejsze niż dokładność podawana przez producenta. Pomiary dla węgla i tlenu przeprowadzane były w osobnych cyklach pomiarowych, ze względu na inny sposób spalania próbek w analizatorze elementarnym na potrzeby wyznaczenia $\delta^{13}\text{C}$ (spalenie tlenowe próbek) oraz $\delta^{18}\text{O}$ (piroliza).

W Lublinie w Zakładzie Spektrometrii Mas do pomiaru stosunków stabilnych izotopów węgla w próbkach gazowych był wykorzystany spektrometr MI-1305 posiadający liczne modernizacje: automatyczny układ dozujący z zaworami pneumatycznymi, zmodyfikowany system kolektorowy, a także stabilizator prądu emisji. Udoskonalenia przyczyniły się do zwiększenia precyzji pomiarów (Hałas, 1979; Penar, 1998). Dla 10 cykli pomiarowych odchylenie standardowe dla próbek α -celulozy wynosiło poniżej 0,1 ‰.

W UFZ-Umweltforschungszentrum w Leipzig-Halle pomiary $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ w α -celulozie przeprowadzane były jednocześnie z zastosowaniem techniki *on-line* z wykorzystaniem spektrometru IRMS-DELTA plus XL (ThermoFinnigan) połączonego z reaktorem HTP (HEKAtech, Germany), w którym zachodził proces pirolizy (Knöller i in., 2005). Przy użyciu tego samego zestawu pomiarowego, zostały wyznaczone wartości $\delta^2\text{H}$ dla nitrocelulozy (Knöller i in., 2007). Precyzja pomiaru wynosiła 0,3‰ w przypadku $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ oraz 3‰ dla $\delta^2\text{H}$ (Szczepanek i in., 2006).

1.5.2. Pomiary koncentracji radiowęglu wykorzystujące akceleratorową spektrometrię mas (AMS)

Zastosowanie akceleratorowej spektrometrii mas do wyznaczenia koncentracji radiowęglu w przyrostach drzew wymaga przetworzenia próbek drewna lub celulozy do postaci grafitu. Przygotowanie grafitu z próbek α -celulozy z przyrostów rocznych sosny z Niepołomic odbywało się w Gliwickim Laboratorium Radiowęglowym kierowanym przez dr hab. inż. Natalię Piotrowską. Ze względu na bardzo małą masę próbek, wiele wysiłku zostało włożonego w uniknięcie zanieczyszczenia zarówno współczesnym, jak i nieaktywnym węglem podczas przygotowywania próbek (Piotrowska 2013). Tarcze grafitowe były wykorzystywane jako katoda do wytworzenia strumienia jonów w pomiarze spektrometrycznym, który został przeprowadzony w Center for Chronological Research (Nagoya University, Japonia) z wykorzystaniem spektrometru AMS HVEE 2.5MV (Nakamura et al. 2000).

1.6. Projekt ISONET – 400 years of Annual Reconstructions of European Climate Variability using a High Resolution Isotopic Network ISONET (EVK2-2001-00237)

Znaczna część danych izotopowych, które zostały opracowane w ramach artykułów stanowiących przedmiot rozprawy została pozyskana w ramach międzynarodowego projektu ISONET. Projekt został zrealizowany w ramach *5th Framework Programme – Energy, Environment and Sustainable Development, Key action 2 "Global Change, Climate and Biodiversity"* (2.1 To understand, detect, assess and predict global change processes; 2.1.4 Climate dynamics and abrupt climate changes) w okresie od 01.03.2003 do 31.07.2006. Projekt ISONET miał na celu zestawienie razem dendrochronologicznych i izotopowych analiz w celu rozwoju bazy danych o zmienności klimatu (temperatura, względna wilgotność i charakterystyka opadów) na obszarze Europy. Szczególny nacisk w projekcie był położony na wykorzystanie izotopowych sygnałów ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, δ^2H) przechowywanych w przyrostach rocznych drzew oraz stworzenie rekonstrukcji izotopowej zmienności klimatu. W tym celu starannie wybrano 24 stanowiska obejmujące obszar od Półwyspu Iberyjskiego do Fennoskandii oraz Kaledonię i Tyrol. Projekt ISONET miał na celu dostarczenie ważnych informacji na temat zmian klimatu Europy, które są niedostępne z historycznych pomiarów. Zakładał on określenie czasowej i przestrzennej natury zmian europejskiego klimatu dla ostatnich 400 lat w oparciu o badania izotopów stabilnych węgla, tlenu i wodoru w przyrostach rocznych sosny i dębu. Miał się on przyczynić do nowego zastosowania i rozwoju istniejących technik analitycznych. Ponadto miał stać się źródłem wiedzy dla naukowców, polityków i obywateli, dzięki której mogliby oni dostosować technologie i strategię działania do przyszłych zmian klimatu. ISONET, wychodząc naprzeciw tym wyzwaniom, rozwijał nowatorskie podejście łączące fizjologię roślin oraz skład izotopowy z czynnikami klimatycznymi i antropogenicznymi.

Uczestnikami projektu ISONET byli:

L.p.	Instytucja	Główni badacze
1	Forschungszentrum Jülich GmbH, Institute Sedimentary Systems, Jülich, Niemcy	Gerhard H. Schleser Gerhard Helle Werner Laumer
2	Anglia Polytechnic University, School of Applied Sciences, Cambridge, Wielka Brytania	John S. Waterhouse V. Roy Switsur Katja Rinne
3	University of Wales, Department of Geography, Swansea, Wielka Brytania	Neil Loader
4	University of Helsinki, Dating Laboratory, Helsinki, Finland	Jungner, Hogne Eloni Sonninen Frank Berninger
5/6	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement Saclay; /CNRS Gif sur Yvette cedex, Francja	Valerie Masson-Delmotte Jean Jouzel Michel Stievenard Nathalie Etien
7	UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Hydrogeologie, AG Paläoklimatologie; Halle/Saale, Niemcy	Tatjana Böttger Marika Haupt

8	Politechnika śląska, Zakład Zastosowań Radioizotopów, Instytut Fizyki, Gliwice, Polska	Anna Pazdur Sławomira Pawełczyk Małgorzata Szczepanek
9	Universitat de Barcelona, Dept. d'Ecologia, Facultat de Biologia; Barcelona (Catalunya), Hiszpania	Emilia Gutierrez Laia Andreu Octavi Planells
10	University of Bern; Climate and Environmental Physics, Physics Institute, Bern, Szwajcaria	Markus Leuenberger Marc Filot
11	Paul Scherrer Institut, Stable Isotope Research Group/Ecosystem Fluxes, Laboratory of Atmospheric Chemistry; Villigen-PSI, Szwajcaria	Matthias Saurer
12	Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, Szwajcaria	Jan Esper Kerstin Treydte
13	Institut für Botanik, Universität für Bodenkultur; Wien, Austria	Rupert Wimmer Michael Grabner

2. OMÓWIENIE PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA

Zmiany klimatu i antropopresja zapisane w archiwach izotopowych przyrostów rocznych drzew

Wybrane przeze mnie publikacje wchodzące w skład wyżej wymienionego osiągnięcia pokazują złożoność procesu pomiaru i wykorzystania stosunków stabilnych izotopów węgla, tlenu i wodoru w przyrostach drzew do poszukiwania w nich sygnału klimatycznego oraz zapisu działalności człowieka. Lista publikacji obejmuje 9 pozycji, które opisują zarówno aspekty metodyczne pomiarów i opracowania danych (B4, B7), jak również są wyrazem poszukiwania korelacji między danymi izotopowymi a klimatycznymi (B1-B6, B8-B9), tworzenia rekonstrukcji klimatycznych i fizjologicznych (B8, B4) oraz próbami wykorzystania wyników badań izotopowych do szacowania wpływu człowieka na środowisko (B3-B4, B6, B8). Tylko w przypadku jednej publikacji jestem jej jedynym autorem. W innych przypadkach liczba autorów waha się od 2 do 50. Związane jest to z moim udziałem w projektach, a zwłaszcza w dużym międzynarodowym projekcie ISONET, który zakładał komplementarność i multidyscyplinarność badań oraz integrację danych dla różnych europejskich stanowisk. Kierowałam również projektem, w którym stworzyłam zespół osób reprezentujących różne dyscypliny naukowe. Przedstawione publikacje wieloautorskie są efektem ogromnego, wieloletniego zaangażowania dużej grupy ludzi w prace związane z projektem, począwszy od poboru próbek, przez wykonanie analiz dendrochronologicznych, wybór drzew najbardziej reprezentatywnych dla każdego stanowiska w oparciu o te analizy, opracowanie wspólnej metodyki preparatyki oraz metodyki pomiarowej, wykonanie analiz izotopowych, opracowanie chronologii izotopowych oraz wykonanie opracowań danych dla każdego stanowiska, aż po zespołowe dyskusje nad wynikami i ich interpretacją. Kompleksowe, multidyscyplinarne badania wykorzystujące przyrosty drzew obejmujące obszar Europy pozwoliły na publikację ich wyników w wiodących czasopismach o wysokim wartościach *Impact Factor* (zwłaszcza publikacja w *Nature Climate Change* – IF: 17,184). Publikacje te zaowocowały również dużą liczbą cytowań. Artykuł w *Nature Climate Change* ma na stronie *Web of Science* status *Highly Cited Paper* (na przełomie września/października 2018 ten często cytowany artykuł uzyskał wystarczającą liczbę cytowań, aby znaleźć się w grupie 1% najlepszych publikacji w obszarze środowisko/ekologia w oparciu o liczbę cytowań).

Dane bibliometryczne publikacji oraz szczegółowy opis mojego wkładu w ich powstanie wraz z oszacowaniem udziału procentowego znajdują się w załączniku nr 4 (pkt. I). Kopie prac wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego znajdują się w załączniku nr 6, a oświadczenia współautorów o wkładzie w powstanie publikacji – w załączniku nr 5.

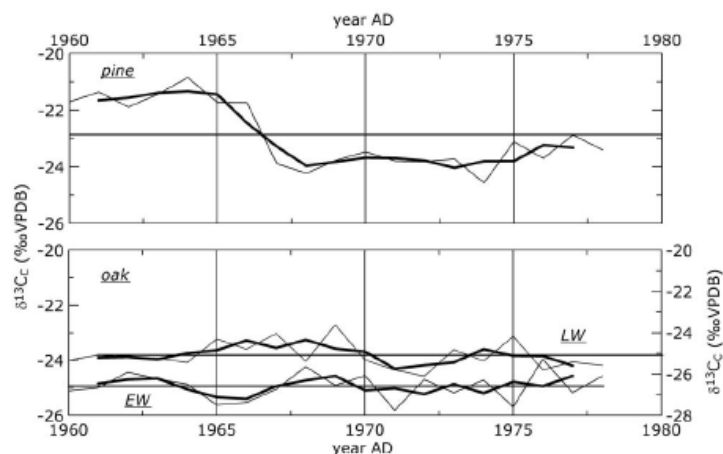
B1. Szczepanek M., Pazdur A., **Pawełczyk S.**, Böttger T., Haupt M., Hałas S., Bednarz Z., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E. 2006. Hydrogen, carbon and oxygen isotopes in pine and oak tree rings from Southern Poland as climatic indicators in years 1900 – 2003. *Geochronometria* 25: 67–76.

IF czasopisma z 2007 roku: 0,667 (czasopismo z listy JRC od 2005 roku, w 2006 nie posiadało jeszcze IF; liczba cytowań: 29 (Web of Science), 32 (Scopus), 40 (Google Scholar); punkty MNiSW: 6 (lista B 2005-2006), na ujednoliconej liście A za lata 2007-2010 ma już 20 punktów.

Publikacja powstała w oparciu o dane izotopowe ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$) uzyskane w trakcie realizacji międzynarodowego projektu ISONET, w którym byłam jednym z wykonawców. Jest ona podsumowaniem interpretacji klimatycznych dla stanowiska Niepołomice, dla którego powstały dwie 400-letnie chronologie izotopowe, pierwsza dla sosny, a druga dla dębu. W przypadku sosny badane były przyrosty roczne, a w przypadku dębu – przyrosty letnie, wyłączając okres 1960 – 1978, dla którego w przypadku chronologii dla dębu zmierzone zostały również stosunki stabilnych izotopów węgla w przyrostach wiosennych. Jednym z istotnych aspektów projektu, które umożliwiłyby wykorzystanie danych izotopowych do rekonstrukcji i predykcji zmian klimatu było poszukiwanie relacji między wartościami $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ oraz $\delta^2\text{H}$ a danymi klimatycznymi. Interpretacje przedstawione w artykule obejmują ostatnie 103 lata. W ramach tych interpretacji zostały wyznaczone współczynniki korelacji między wartościami dotyczącymi danych izotopowych a czynnikami klimatycznymi, takimi jak temperatura, usłonecznienie i suma opadów atmosferycznych. Istotnie statystycznie korelacje ($p < 0,05$) zostały wskazane między wartościami $\delta^{13}\text{C}$ skorygowanymi ze względu na zmiany stosunków stabilnych izotopów węgla atmosferycznego CO_2 a temperaturami okresu wegetacyjnego. Współczynnik korelacji między skorygowanymi wartościami $\delta^{13}\text{C}$ a temperaturą czerwca w przypadku chronologii izotopowej dla sosny wynosi 0,21. Taką samą wartość ma współczynnik korelacji między skorygowanymi wartościami $\delta^{13}\text{C}$ a temperaturą września w przypadku chronologii izotopowej dla dębu. Analiza korelacji między danymi izotopowymi dla sosny a nasłonecznieniem wskazuje występowanie znacznie wyższych współczynników niż w przypadku korelacji z temperaturą. W przypadku wartości $\delta^{18}\text{O}$ zarówno dla chronologii izotopowej dla sosny, jak i dębu można znaleźć korelację z temperaturą miesięcy letnich, jak i antykorelację z sumą opadów atmosferycznych w letnich miesiącach. Najwyższy współczynnik korelacji został zanotowany między $\delta^2\text{H}$ a temperaturą miesiąca sierpnia w przypadku chronologii izotopowej dla dębu. Występują również istotne korelacje między danymi izotopowymi a danymi klimatycznymi dla ubiegłego roku. Jest to związane między innymi z tym, że drzewo wykorzystuje do tworzenia swojej materii organicznej materiały zapasowe utworzone w roku poprzedzającym tworzenia słoja. Przeprowadzone badania wskazują, że izotopowa chronologia dla sosny jest bardziej wrażliwym wskaźnikiem zmian klimatu i środowiska niż chronologia dla dębu. Uzyskane współczynniki korelacji były porównywalne z innymi cytowanymi w literaturze.

Dla chronologii izotopowej sosny z Niepołomic zauważone zostało znaczne zaniżenie wartości $\delta^{13}\text{C}$ po roku 1967 (ryc. 2.1). Zaniżenie nie zostało zanotowane w przypadku wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla przyrostów letnich dębu. Z tego względu podjęte zostały dodatkowe badania obejmujące wyznaczenie wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla przyrostów wiosennych dębu. Również w tym przypadku nie zostało zanotowane zaniżenie

wartości $\delta^{13}\text{C}$ (ryc. 2.1). W pobliżu Niepołomic w 1954 roku rozpoczęła działalność huta im. T. Sędzimir w Nowej Hucie, która była rozbudowywana do roku 1970. Przyrosty roczne sosny również wskazują na znaczną redukcję począwszy od lat 60-tych XX wieku, czego nie da się zaobserwować w przypadku przyrostów zarówno letnich, jak i wiosennych dębu. Wskazuje to na wyraźną różną czułość różnych gatunków drzew na warunki środowiskowe.



Ryc. 2.1. Skorygowane wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla α -celulozy przyrostów rocznych sosny oraz przyrostów letnich (LW) i wiosennych dębu (EW) w latach 1960-1978. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B1.

Dla Krakowa dla lat 1975-2001 dostępne są dane dotyczące składu izotopowego opadu atmosferycznego (dane *Global Network of Isotopes in Precipitation – GNIP*). Zostały one porównane z danymi dla przyrostów rocznych drzew. W przypadku pomiarów izotopowych dla sosny zaobserwowane zostały istotne statystycznie korelacje między wartościami $\delta^{18}\text{O}$ w opadzie atmosferycznym i przyrostach rocznych drzew ($r = 0,44$, $p < 0,05$) oraz między wartościami $\delta^2\text{H}$ w opadzie i przyrostach rocznych ($r = 0,45$, $p < 0,05$). W przypadku chronologii izotopowej dla przyrostów letnich dębu istotne statystycznie korelacje występują tylko w przypadku izotopów tlenu ($r = 0,39$, $p < 0,05$).

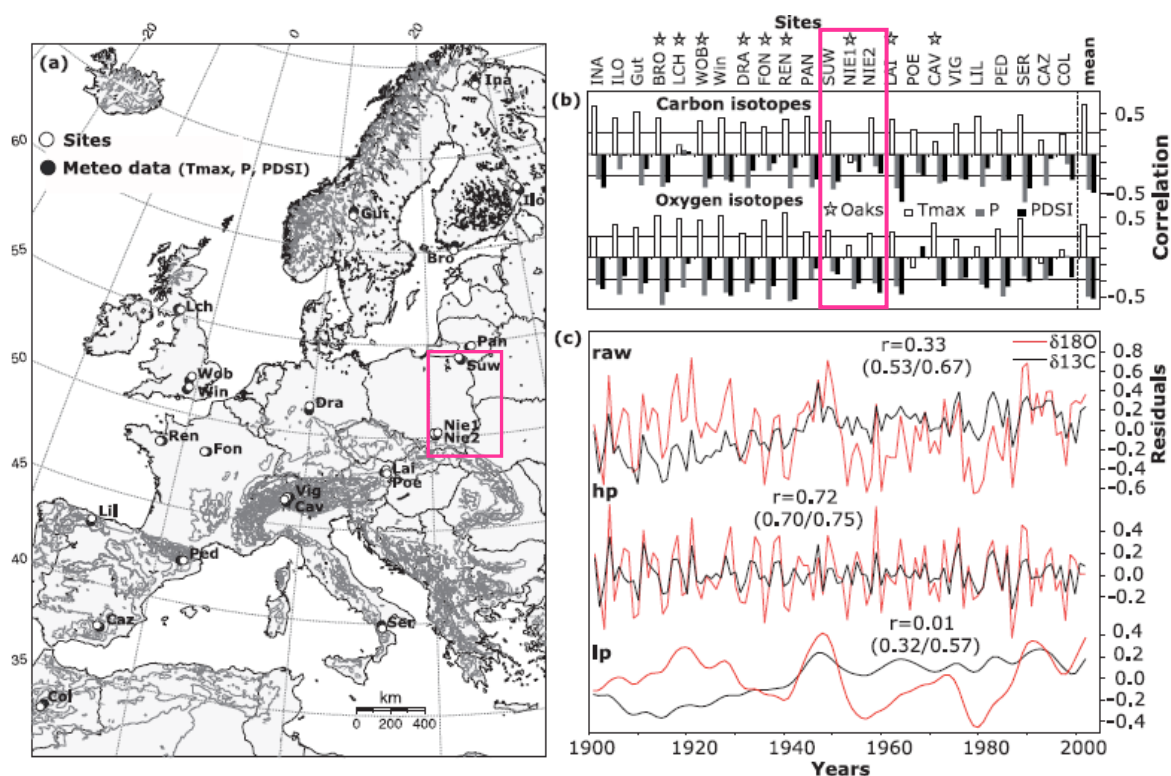
B2. Treydte K. S., Frank D., Esper J., Andreu L., Bednarz Z., Berninger F., Boettger T., D’Alessandro C.M., Etien N., Filot M., Grabner M., Guillemain M.T., Guttierrez E., Haupt M., Helle G., Hilasvuori E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krapiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Masson-Delmotte V., Pazdur A., **Pawełczyk S.**, Pierre M., Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., Rinne K.T., Saracino A., Saurer M., Sonninen E., Stievenard M., Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krapiec E., Todaro L., Waterhouse J.S., Weigl M., and Schleser G.H. 2007. Signal strength and climate calibration of a European tree ring isotope network. *Geophysical Research Letters* 34, L24302, doi:10.1029/2007GL031106.

Do artykułu dołączono materiały dodatkowe (*Supplementary Material*) obejmujące 6 stron.

IF czasopisma z 2007 roku: 2,744 (czasopismo z listy JRC);
liczba cytowań: 113 (Web of Science), 120 (Scopus), 144 (Google Scholar);
punkty MNiSW: 32 (lista A 2007-2010), 24 (lista A 2007).

Artykuł prezentuje dane izotopowe ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$) pozyskane w ramach działania europejskiej sieci badawczej ISONET dla 23 stanowisk reprezentujących obszar od Finlandii po Maroko. Wśród prezentowanych danych są również dwa polskie stanowiska badawcze: Suwałki (chronologia izotopowa dla sosny) i Niepołomice (chronologia izotopowa dla sosny i dębu). Byłam osobą odpowiedzialną za badania prowadzone dla stanowiska Suwałki oraz uczestniczyłam w badaniach dla stanowiska Niepołomice. W czasie spotkań wykonawców projektu ISONET przedstawiałam chronologie izotopowe oraz wyniki korelacji danych izotopowych z lokalnymi danymi klimatycznymi dla Suwałk oraz uczestniczyłam w opracowaniu danych dla Niepołomic. Celem stworzenia homogenicznej grupy danych dla całego obszaru Europy prezentowane korelacje między danymi izotopowymi a lokalnymi danymi klimatycznymi zostały następnie przeliczone, gdyż zamiast lokalnych danych klimatycznych, które miały różny zasięg czasowy zostały zastosowane gridowe miesięczne dane meteorologiczne CRU – *Climatic Research Unit* (Mitchel i Jones, 2005), które są dostępne dla całego XX wieku oraz charakteryzują się rozdzielczością przestrzenną $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Badania skupiły się głównie na poszukiwaniu korelacji między danymi izotopowymi a temperaturą maksymalną i opadem atmosferycznym dla miesięcy letnich (czerwiec – sierpień), dla których zanotowano najwyższe współczynniki korelacji. Dodatkowo analizowane były współczynniki korelacji między danymi izotopowymi a PDSI – *Palmer Drought Severity Index*. Współczynnik PDSI (Dai i in., 2004; Wells i in., 2004; van der Schrier i in., 2006) to tak zwany wskaźnik surowości suszy Palmera. Przyjmuje on generalnie wartości od -6 (obszar suchy) do 6 (obszar mokry). Wyniki analiz dla całego obszaru Europy przedstawia rycina 2.2. Na rycinie wyróżniono wyniki analiz dla polskich stanowisk. Dla danych izotopowych ze stanowisk klimatu umiarkowanego można zauważyć korelację z maksymalną temperaturą i antykorelację z opadem. Szczególnie dla Europy centralnej temperatura i opad są silnie ze sobą skorelowane. Parametr PDSI, jako odzwierciedlający temperaturę i opad, można traktować zatem jako kluczowy dla rekonstrukcji klimatycznych.

W celu analizy spójności przestrzennej danych izotopowych uzyskanych w ramach sieci Europejskiej ISONET zastosowano analizę głównych składowych (PCA – *Principal Component Analysis*). Wykazała ona, że wartości $\delta^{18}\text{O}$ są w dużej mierze niezależne od gatunków, dla których wykonano pomiary i pozwalają na wyróżnienie regionalnych podzbiorów. W przypadku danych $\delta^{13}\text{C}$ nie udało się wskazać wyraźnych podzbiorów. Dane $\delta^{13}\text{C}$ wydają się być zależne od czasu. Rozbieżności między danymi $\delta^{13}\text{C}$ mogą wynikać też między innymi z warunków ekologicznych. Analiza PCA wykazała potencjał danych $\delta^{18}\text{O}$ pozyskanych dla Europy do rekonstrukcji klimatu w czterech odrębnych europejskich podregionach. Otrzymane gradienty: zachodnio-wschodni oraz północno-południowy, jak również bliski związek wartości $\delta^{18}\text{O}$ z wartościami temperatury i wielkością opadu potwierdzają teorię frakcjonowania izotopowego jako funkcji źródła mas powietrza i ich trajektorii (Róžański i in., 1993).



Rys. 2.2. (a) Stanowiska badawcze i odpowiadające im gridowe komórki klimatyczne z kodami wskazującymi nazwę stanowiska. (b) Zależna od miejsca korelacja między klimatem (czerwiec-lipiec) a chronologią węglową („surową” – bez korekty) i tlenową, uszeregowana równoleżnikowo, gwiazdki wskazują chronologię dla dębów, *mean* – korelacja między uśrednionym rekordem izotopowym a uśrednioną wartością danych meteorologicznych dla każdej gridowej komórki. Linie na wykresie symbolizują poziom istotności $p < 0,01$. (c) Europejska chronologia węglowa i tlenowa (każda wyliczona jako uśrednienie chronologii lokalnych; *raw* – reszty wyznaczone względem średniej dla lat 1901-1998; *hp* – dane po zastosowaniu filtra górnoprzepustowego; *lp* – dane po zastosowaniu filtra dolnoprzepustowego; r – współczynniki korelacji Pearsona; liczby w nawiasach – wartości r dla okresu 1901-1951 AD i 1952-2002 AD. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B2 z zaznaczeniem polskich stanowisk.

B3. Pazdur A., Nakamura T., [Pawełczyk S.](#), Pawlyta J., Piotrowska N., Rakowski A., Sensuła B., Szczepanek M. 2007. Carbon isotopes in tree rings: climate and the Suess effect interferences in the last 400 years. *Radiocarbon* 49(2): 775-788.

IF czasopisma z 2007 roku: 1,164 (czasopismo z listy JRC);

liczba cytowań: 23 (Web of Science), 27 (Scopus), 34 (Google Scholar);

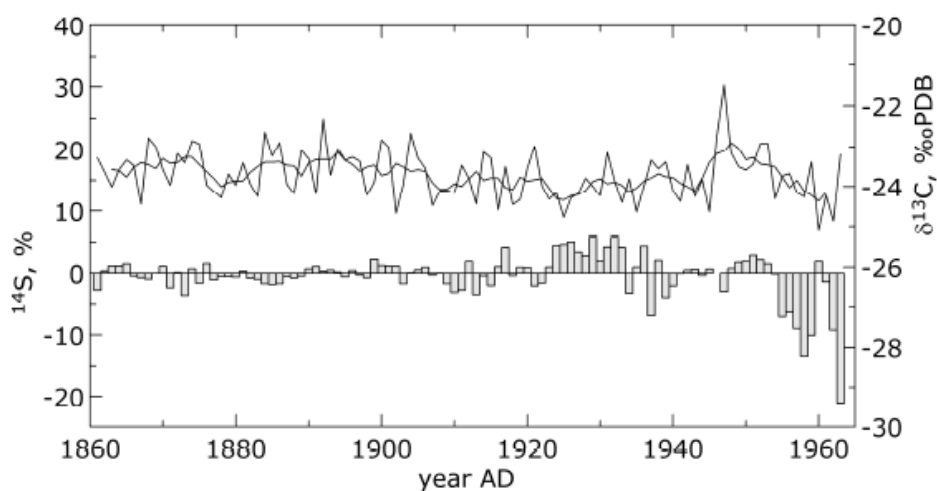
punkty MNiSW: 32 (lista A 2007-2010), 20 (lista A 2007).

Praca prezentuje i porównuje wyniki pomiarów koncentracji radiowęglu w przyrostach rocznych drzew dla polskich (Niepołomice, Kraków, Ruda Śląska, Suwałki) i japońskich (Nagoya A, Nagoya B) stanowisk badawczych oraz dla jednego stanowiska peruwiańskiego (Arequipa). Badania objęły różne przedziały czasowe i prezentują różne techniki pomiarowe (AMS oraz metodę ciekłoscyntylacyjną). Koncentracja radiowęglu podobnie jak stosunki stabilnych izotopów węgla może odzwierciedlać antropopresję. Z tego względu dla wszystkich stanowisk badawczych oszacowana została wielkość ^{14}C jako wskaźnik efektu Suessa, czyli zniżenia koncentracji radiowęglu spowodowanego emisją do atmosfery CO_2 pochodzącego ze spalania paliw kopalnych. Wartości ^{14}C dla miejsc o mniejszej

antropopresji miały niższe wartości (Suwałki: $^{14}\text{S} = (-0,47 \pm 3,76)\%$, Niepołomice: $^{14}\text{S} = (0,60 \pm 0,65)\%$ i Arequipa: $^{14}\text{S} = (0,79 \pm 0,17)\%$ niż w przypadku obszarów poddanych silnej antropopresji (Kraków: $^{14}\text{S} = (3,63 \pm 0,27)\%$, Ruda Śląska: $^{14}\text{S} = (3,64 \pm 0,7)\%$, Nagoya A: $^{14}\text{S} = (3,44 \pm 0,20)\%$ oraz Nagoya B: $^{14}\text{S} = (3,61 \pm 0,31)\%$).

W czasie realizacji projektu ISONET zostały wyznaczone wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla stanowiska Niepołomice (dla α -celulozy przyrostów rocznych sosny i letnich dębu) oraz dla stanowiska Suwałki (dla α -celulozy przyrostów rocznych sosny). Pozwoliło to na porównanie wielkości ^{14}S i $\delta^{13}\text{C}$ jako nośników informacji o antropopresji dla obydwu stanowisk. W przypadku Niepołomic porównanie objęło lata 1960-1999, a w przypadku Suwałk – lata 1861-1958. Jestem bezpośrednio autorem porównania dla Suwałk, ponieważ w projekcie ISONET odpowiadałam za chronologie izotopowe dla tego stanowiska oraz wyznaczyłam wartości $\Delta^{14}\text{C}$ oraz ^{14}S dla tego właśnie obszaru we wcześniejszych badaniach. Wyniki porównania przedstawia rycina 2.3. Zarówno w przypadku Suwałk, jak i Niepołomic nie zaobserwowano istotnej korelacji między wielkościami $\delta^{13}\text{C}$ i ^{14}S . Może to być związane z tym, że na każdą z tych wielkości wpływają dodatkowo inne czynniki związane z działalnością człowieka. Można jednak zauważyć, że po roku 1945 widać najsilniejsze zmiany tak w $\delta^{13}\text{C}$, jak i wielkości ^{14}S .

Dodatkowo w artykule przeanalizowane zostały wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\Delta^{14}\text{C}$ w okresach niskiej aktywności słonecznej (minimum Maundera i minimum Daltona). Spodziewana była antykorelacja między $\Delta^{14}\text{C}$ a liczbą plam słonecznych oraz między $\Delta^{14}\text{C}$ a $\delta^{13}\text{C}$. Porównanie wartości wykazało opóźnienie między $\Delta^{14}\text{C}$ a $\delta^{13}\text{C}$, szczególnie w przypadku Suwałk. Może to wskazywać, że ochłodzenie na północy Polski było wcześniejsze niż na południu.



Ryc.2.3. Porównanie $\delta^{13}\text{C}$ i ^{14}S w przyrostach rocznych sosny dla stanowiska Suwałki (PSPSR) dla okresu 1962 – 1958. Współczynnik korelacji wynosi $r = 0,12$ $n=102$, $p < 0,3$; średnia wartość $^{14}\text{S} = (-0,47 \pm 3,76)\%$. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B3.

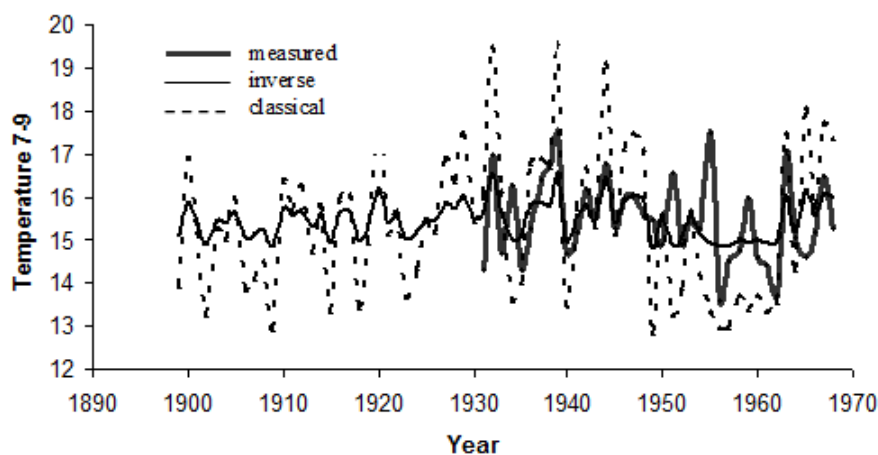
B4. [Pawełczyk S.](#) 2011 (2013). Isotopic measurements in tree rings for climate change investigation. *Archaeologia Polona* 49: 203-213.

IF czasopisma: brak (czasopismo z listy C MNiSW);

liczba cytowań: brak danych;

punkty MNiSW: 10 (lista C 2011, 2013).

Jest to praca metodyczna, która pokazuje jak należy prowadzić badania izotopowe dla przyrostów rocznych drzew, aby uzyskać z nich jak najpełniejsze dane do rekonstrukcji klimatycznych. Artykuł opisuje, w oparciu o frakcjonowanie izotopowe, związek między wartościami $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ i δ^2H a czynnikami klimatycznymi. Dotyczy on nie tylko kwestii poboru próbek, ich preparatyki wstępnej, ale również sposobu opracowania danych izotopowych. Oprócz ogólnego opisu metodycznego zawiera także przykład zastosowania danych izotopowych do rekonstrukcji klimatu. Na przykładzie danych izotopowych dla rejonu Augustowa dla lat 1931-1967 przeprowadzone zostały analizy korelacji między danymi izotopowymi, a danymi meteorologicznymi pochodzącymi ze stacji meteorologicznej w Suwałkach (położonej około 40 km od miejsca poboru próbek). Najpierw przy użyciu programu *DendroCim2002* zostały wyznaczone współczynniki korelacji między skorygowanymi ze względu na zmiany składu izotopowego CO_2 wartościami $\delta^{13}C$ a średnią temperaturą dla poszczególnych miesięcy. Program *DendroCim2002* wykorzystuje metody *bootstrap* we wnioskowaniu statystycznym (Biondi i Waikul, 2004). Generuje on 1000 próbek poprzez ich wybranie z powtórzeniami. Wskazuje również, które współczynniki są istotne statystycznie ($p < 0,05$). Najwyższy współczynnik dla pojedynczego miesiąca został zaobserwowany w przypadku korelacji między $\delta^{13}C$ a średnią temperaturą sierpnia. Jeśli jednak pod uwagę były brane dłuższe okresy czasu (miesiące letnie) współczynniki miały wyższe wartości. Współczynnik korelacji Pearsona w przypadku zależności między $\delta^{13}C$ a średnią temperaturą miesiący lipiec-wrzesień wynosi 0,52. W rekonstrukcji klimatu istotne są nie tylko współczynniki korelacji, ale także stabilność czasowa tych współczynników. Program *DendroCim2002* umożliwia zastosowanie między innymi techniki ruchomych przedziałów. W przypadku badań przedstawionych w artykule wybrane zostały ruchome przedziały 10-letnie, które miały stałą długość czasową, ale współczynniki korelacji były liczone dla tych przedziałów przesuwanych konsekwentnie o jeden rok. Wyniki pokazały wyraźnie, że po roku 1950 nie ma istotnych statystycznie współczynników korelacji. Inne czynniki niż klimatyczne musiały mieć wpływ na rozwój drzewa, a co za tym idzie na wartości $\delta^{13}C$. Niewątpliwie ogromne znaczenie miał tutaj wpływ działalności człowieka związany z rozwojem przemysłu, który spowodował zwiększoną emisję CO_2 . Kolejny krok związany był z wyborem metody rekonstrukcji dla lat 1900-1968 oraz wyborem okresu kalibracyjnego. Wybrane zostały dwie metody kalibracji – regresja klasyczna i odwrotna. Jeśli chodzi o okres kalibracyjny to najlepsze efekty w rekonstrukcji przyniósł wybór lat 1931-1950, a zatem okresu dla którego nie obserwowano dużego wpływu człowieka, a w związku z tym występowały istotne statystycznie korelacje między danymi izotopowymi i klimatycznymi. Końcowe efekty rekonstrukcji zmiany średniej temperatury okresu lipiec-wrzesień w oparciu o zmiany składu izotopowego α -celulozy przyrostów rocznych sosny przedstawia rycina 2.4.



Ryc.2.4. Rekonstrukcja średniej temperatury okresu lipiec-wrzesień bazująca na związku między $\delta^{13}\text{C}$ i temperaturą dla lat 1931-1950. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B4.

B5. [Pawełczyk S., Anna Pazdur, Sensuła B., Kaczka R. 2012. Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej. Tom: R. 14, zeszyt 1 \(30\): 205-211.](#)

IF czasopisma: brak (czasopismo z listy B MNiSW);

liczba cytowań: brak danych;

punkty MNiSW: 5 (lista B 2012).

Artykuł przedstawia część wyników pozyskanych w kierowanym przeze mnie projekcie: „*Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko dla obszarów górskich Europy Środkowej*” (N N305 155737). Artykuł zwraca uwagę na istotne aspekty wykorzystania izotopów w przyrostach rocznych drzew jako nośnika informacji o klimacie i środowisku. Jednym z takich aspektów jest nakładanie się sygnałów odczytywanych w drewnie, a pochodzących z różnych źródeł zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych.

Publikacja odnosi się głównie do analizy wartości $\delta^{18}\text{O}$ wyznaczonych dla α -celulozy przyrostów rocznych świerka z rejonu Tatr dla lat 1950-2009. Przy użyciu programu *DendroClim2002* wykorzystującego metody *bootstrap* we wnioskowaniu statystycznym wyznaczone zostały współczynniki korelacji między wartościami $\delta^{18}\text{O}$ a danymi klimatycznymi (średnią miesięczną temperaturą i miesięczną sumą opadów atmosferycznych) pozyskanymi z bazy CRU – *Climatic Research Unit* (Mitchel i Jones, 2005). Dla pojedynczych miesięcy istotne statystycznie współczynniki korelacji między danymi izotopowymi a miesięcznymi danymi klimatycznymi zostały zaobserwowane jedynie dla miesiąca sierpnia ($r = 0,40$, $p < 0,05$) i stycznia ($r = 0,30$, $p < 0,05$) w przypadku temperatury oraz lipca ($r = -0,25$, $p < 0,05$), sierpnia ($r = -0,28$, $p < 0,05$) i września ($r = 0,34$, $p < 0,05$) w przypadku opadu atmosferycznego. Najwyższy współczynnik korelacji między $\delta^{18}\text{O}$ a miesięczną sumą opadów atmosferycznych dla miesiąca września mocno odbiega od współczynników korelacji dla miesięcy letnich, dla których można zauważyć antykorelację między sygnałem izotopowym a klimatycznym. W przypadku, gdy do analiz zastosowano średnie temperatury bądź też sumy opadów atmosferycznych dla okresów dłuższych niż miesięczne, wyznaczone współczynniki korelacji miały wyższe wartości (tabela 2.1).

Tabela 2.1 Współczynniki korelacji między $\delta^{18}O$ a średnią sezonową temperaturą i sumą opadów atmosferycznych. Wyróżnione wartości są istotne statystycznie ($p < 0,05$). Tabela wraz z opisem pochodzi z pracy B5.

Okres	r	
	Temperatura	Opad
kwiecień-sierpień	0,38	-0,48
maj-sierpień	0,37	-0,47
czerwiec-sierpień	0,36	-0,45
lipiec-sierpień	0,35	-0,40
sierpień-wrzesień	0,22	-0,02
marzec-czerwiec	0,32	-0,38
marzec-sierpień	0,38	-0,52
styczeń-sierpień	0,37	-0,52
wrzesień-październik	-0,15	0,33

Za pomocą programu *Dendroclim2002* z użyciem ruchomych 25-letnich przedziałów przeprowadzona została analiza stabilności czasowej korelacji między $\delta^{18}O$ a danymi klimatycznymi, na podstawie której stwierdzono, że korelacja jest istotna statystycznie dla ostatnich 30 lat. Brak wcześniejszych istotnych korelacji może być związany z zanieczyszczeniami, które mogą zakłócać sygnał klimatyczny zapisany w izotopach.

B6. Pazdur A., Kuc T., **Pawełczyk S.**, Piotrowska N., Sensuła B., Róžański K. 2013. Carbon Isotope Composition of Atmospheric Carbon Dioxide in Southern Poland: Imprint of Anthropogenic CO₂ Emissions in Regional Biosphere. *Radiocarbon* 55 (2/3): 848–864.

IF czasopisma: 1,065;

liczba cytowań: 13 (Web of Science), 13(Scopus), 14(Google Scholar);

punkty MNiSW: 35 (lista A 2013), 40 (ujednolicona lista A 2013-2016).

Artykuł stanowi szerokie zestawienie analiz składu izotopowego węgla ($\delta^{13}C$ oraz $\Delta^{14}C$) w atmosferycznym CO₂, jak również w przyrostach rocznych drzew na południu Polski. Porównuje on zapis izotopowy dla trzech różnych ekosystemów: Krakowa, Puszczy Niepołomickiej i Kasprowego Wierchu. Wszystkie wymienione obszary są narażone na emisję CO₂ pochodzącego ze spalania paliw kopalnych. W oparciu o koncentrację radiowęglu w atmosferycznym CO₂ i α -celulozie drzew wyznaczona została składowa fosylna związana ze spalaniem paliw kopalnych. Wyniki analiz koncentracji radiowęglu wykazały, że obszar Puszczy Niepołomickiej, mimo stosunkowo niewielkiej odległości od Krakowa, charakteryzuje się powietrzem praktycznie wolnym od CO₂ ze spalania paliw kopalnych. W artykule sformułowano również hipotezę, iż za brak zaniżenia koncentracji ^{14}C w przyrostach drzew z Puszczy Niepołomickiej odpowiedzialny jest CO₂ pochodzący z rozkładu materii organicznej w środowisku leśnym, który to CO₂ zawiera z kolei zawyżoną koncentrację ^{14}C , co maskuje efekt antropogeniczny. Ponadto w artykule zostały przedstawione dwa modele, które pozwoliły na wskazanie składowych $\delta^{13}C$ związanych z klimatem, jak również emisją CO₂ oraz w przypadku pierwszego z przedstawionych modeli – na oszacowanie emisji CO₂. Jestem autorką pierwszego modelu, który założył, że jeśli $\delta^{13}C$ jest funkcją czasu, klimatycznych i antropogenicznych czynników:

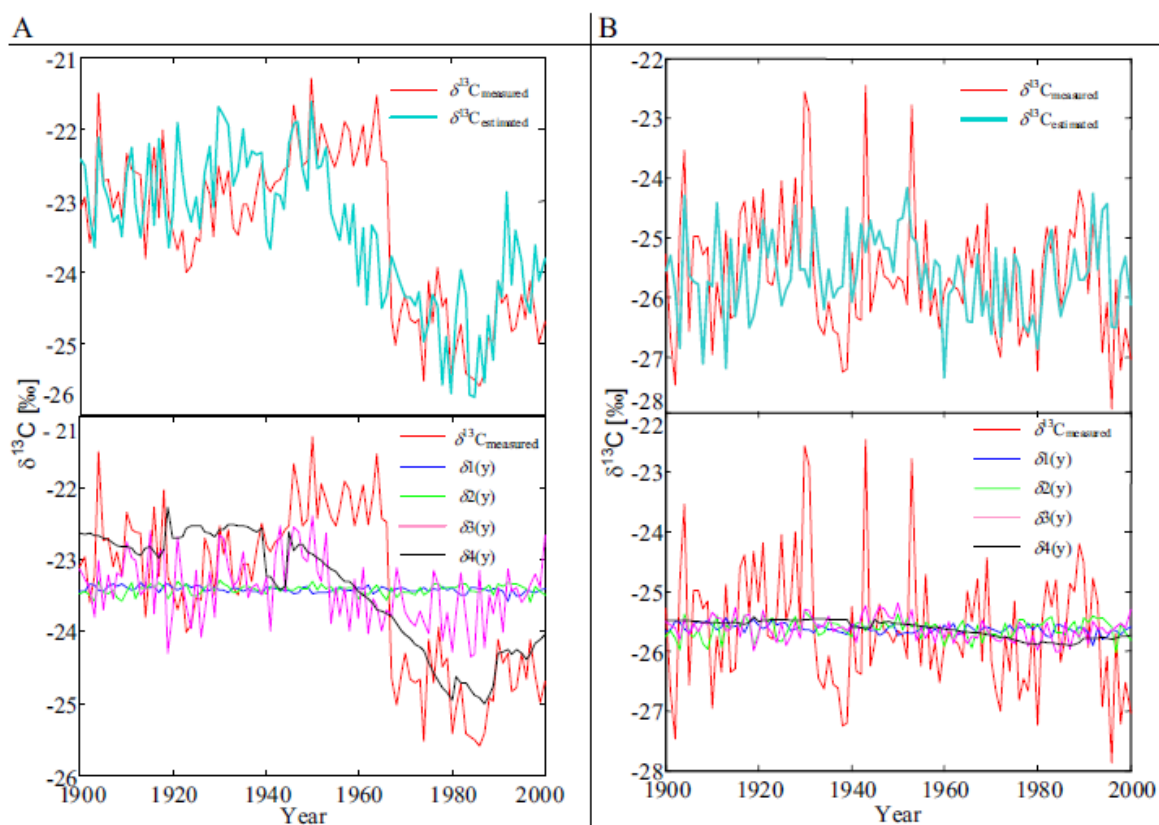
$$\delta^{13}C = f(y, t, p, s, e, q),$$

gdzie: y = czas, t = temperatura, p = suma opadów, s = usłonecznienie, e = emisja CO₂ i q = dodatkowe czynniki, np. emisja innych zanieczyszczeń, to można zapisać następujące równanie:

$$\frac{\partial \delta^{13}C(y, t, p, s, e, q)}{\partial y} = \frac{\partial \delta^{13}C}{\partial t} \cdot \frac{\partial t(y)}{\partial y} + \frac{\partial \delta^{13}C}{\partial p} \cdot \frac{\partial p(y)}{\partial y} + \frac{\partial \delta^{13}C}{\partial s} \cdot \frac{\partial s(y)}{\partial y} + \frac{\partial \delta^{13}C}{\partial e} \cdot \frac{\partial e(y)}{\partial y} + \frac{\partial q(y)}{\partial y}.$$

Zmiany $\delta^{13}C$ związane ze zmianami temperatury, sumy opadów, usłonecznienia, czy też emisji CO₂ zostały oszacowane z wykorzystaniem metody regresji liniowej. Na podstawie obliczeń wyodrębnione zostały składowe $\delta^{13}C$ związane z temperaturą ($\delta 1(y)$), opadem ($\delta 2(y)$), usłonecznieniem ($\delta 3(y)$) oraz emisją CO₂ ($\delta 4(y)$), przedstawione na rycinie 2.5. Współczynnik korelacji między zmierzoną wartością $\delta^{13}C$ a wartością oszacowaną na podstawie przedstawionych na rycinie składowych wynosi w przypadku pomiarów wykonanych dla sosny 0,71, a w przypadku pomiarów dla dębu tylko 0,15. Może to świadczyć o tym, że jeszcze jakiś inny czynnik ma znaczny wpływ na wartości $\delta^{13}C$ w celulozie przyrostów letnich dębu.

Zakładając, że tylko temperatura, suma opadów, usłonecznienie i emisja CO₂ ze spalania paliw kopalnych wpływają na wartość $\delta^{13}C$ oszacowana została na bazie wartości $\delta^{13}C$ emisja CO₂. Emisja oszacowana w oparciu o $\delta^{13}C$ w celulozie przyrostów rocznych sosny wykazuje podobny trend jak emisja oszacowana przez Bodena i in (2011).



Ryc. 2.5. Zmierzone wartości $\delta^{13}C$ (czerwona linia) i oszacowane wartości $\delta^{13}C$ w oparciu o składowe związane z różnymi wpływającymi czynnikami w czasie: A – składowe dla sosny, B – składowe dla dębu. Składowe 1,2,3 i 4 odnoszą się do odpowiednich parametrów klimatycznych: temperatury, sumy opadów i usłonecznienia oraz emisji CO₂. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B6.

B7. Klusek M., **Pawełczyk S.** 2014. Stable carbon isotope analysis of subfossil wood from Austrian Alps. *Geochronometria* 41 (4): 400-408.

IF czasopisma: 1,158;

liczba cytowań: 5 (*Web of Science*), 6 (*Scopus*), 7 (*Google Scholar*);

punkty MNiSW: 25 (*lista A 2014*), 30 (*ujednolicona lista A 2013-2016*).

Artykuł jest pracą metodyczną związaną z udziałem w charakterze eksperta w projekcie finansowany przez FWF (*Austrian Science Fund*): P23998 *Tree-ring climate reconstruction – continuation*, którym kierowała dr Marzena Klusek. Projekt obejmował analizy składu izotopowego węgla w subfosylnych próbkach drewna i ich wykorzystanie do interpretacji klimatycznych. Projekt zakładał stworzenie węglowej chronologii izotopowej obejmującej ostatnie 2000 lat dla Gór Dachstein będących częścią Alp Wapiennych. Część materiału badawczego, na którym została oparta chronologia została pozyskana z pni świerków zdeponowanych w jeziorze Schwarzersee. Przed rozpoczęciem prac związanych z konstruowaniem chronologii izotopowej konieczne stało się sprawdzenie przydatności drewna pozyskanego ze zdeponowanych w jeziorze pni do ekstrakcji α -celulozy i przetestowanie, czy konieczne będzie stosowanie preparatyki wstępnej, polegającej na zastosowaniu ekstrakcji w kolumnie Soxhleta z wykorzystaniem mieszaniny toluenu i etanolu (1:1) w celu usunięcia żywic. Zawartość procentowa α -celulozy oszacowana na podstawie ilości uzyskanej α -celulozy w stosunku do masy początkowej drewna dla próbek reprezentujących zarówno współczesny materiał, jak również próbki drewna subfosylnego nie wykazała znaczących różnic, co świadczyło wyraźnie o dobrym zachowaniu drewna subfosylnego i jego przydatności do pozyskiwania α -celulozy. Testy statystyczne (test t-Studenta oraz ANOVA-jednoczynnikowa analiza wariancji) zostały przeprowadzone dla 10 par wyników analiz izotopowych dla próbek poddanych ekstrakcji w kolumnie Soxhleta przed pozyskaniem celulozy i z pominięciem ekstrakcji w kolumnie przed pozyskaniem celulozy. Otrzymane wyniki (ryc. 2.6) pokazały brak statystycznie istotnych różnic dla wyników izotopowych ($\delta^{13}\text{C}$) dla próbek otrzymanych w wyniku ekstrakcji α -celulozy poprzedzonej płukaniem próbek drewna w kolumnie Soxhleta, jak również otrzymanych z pominięciem etapu płukania.

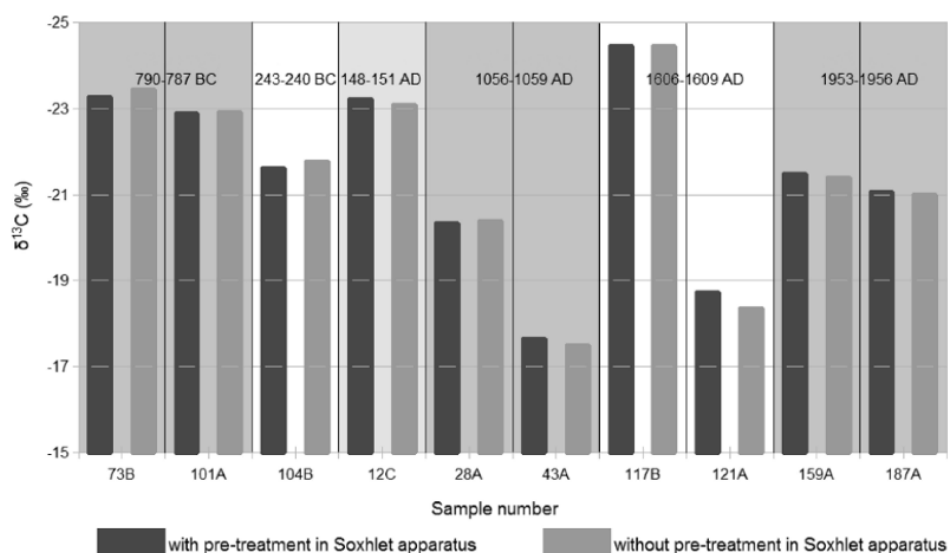


Fig.2.6. Porównanie wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla próbek poddanych preparatyce w kolumnie Soxhleta oraz preparowanych z pominięciem tego etapu prac laboratoryjnych. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B7.

Uzyskane w pracy wyniki pozwoliły wybrać optymalną metodę ekstrakcji celulozy zarówno z próbek drewna współczesnego, jak i subfosylnego na potrzeby badań izotopowych, zarówno pod kątem jakości α -celulozy, jak i czasu preparatyki oraz kosztów.

B8. Frank D.C., Poulter B., Saurer M., Esper J., C. Huntingford C., Helle G., Treydte K.S., Zimmermann N.E., Schleser G.H., Ahlstrom A., Ciais P., Friedlingstein P., Levis S., Lomas M., Sitch S., Viovy N., Andreu-Hayles L., Bednarz Z., Berninger F., T. Boettger T., D'Alessandro C.M., Daux V., Filot M., M. Grabner M., Gutierrez E., Haupt M., Hiltunen E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krapiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Marah H., Masson-Delmotte V., Pazdur A., **Pawełczyk S.**, Pierre M., O. Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., K.T. Rinne K.T., Saracino A., Sonninen E., Stievenard M., V.R. Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krapiec E., L. Todaro L., J.S. Waterhouse J.S., Weigl M. 2015. Water use efficiency and transpiration across European forests during the anthropocene. *Nature Climate Change* 5 (6): 579-583.

Do artykułu dołączono dodatkowe informacje (*Supplementary Information*) obejmujące 41 stron.

IF czasopisma: 17,184;

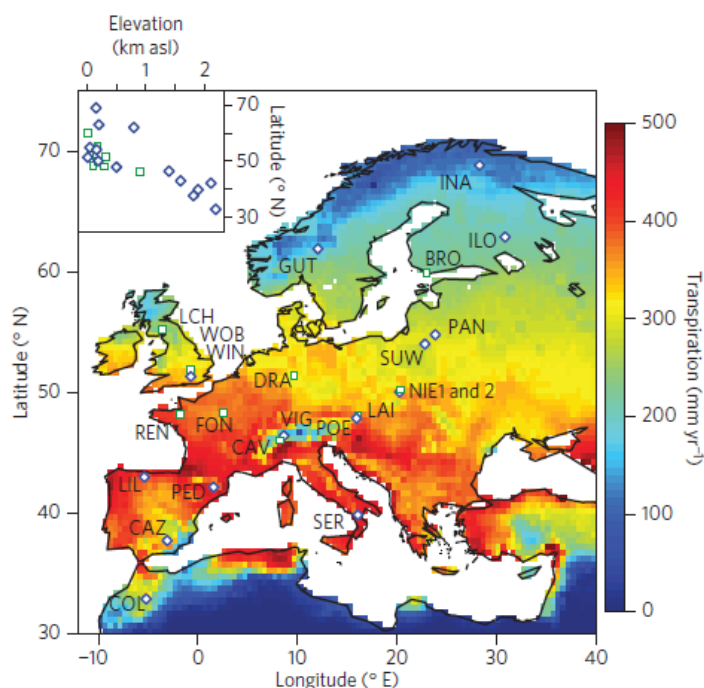
liczba cytowań: 111 (*Web of Science – status Highly Cited Paper*), 109 (*Scopus*), 136 (*Google Scholar*);

punkty MNiSW: 50 (*lista A 2015*), 50 (*ujednolicona lista A 2013-2016*).

Artykuł prezentuje dane dotyczące rzeczywistej efektywności wykorzystania wody – iWUE (*intrinsic water-use efficiency*) oraz transpiracji, oszacowane w oparciu o pomiary stosunków stabilnych izotopów węgla w α -celulozie przyrostów rocznych drzew dla 23 stanowisk reprezentujących obszar od Skandynawii po region śródziemnomorski. Dane izotopowe zostały pozyskane w ramach realizacji projektu ISONET oraz dalszego działania europejskiej sieci badawczej ISONET. Wśród prezentowanych danych są również dwa polskie stanowiska badawcze: Suwałki (chronologia izotopowa dla sosny) i Niepołomice (chronologia izotopowa dla sosny i dębu). Byłam osobą odpowiedzialną za badania prowadzone dla stanowiska Suwałki oraz uczestniczyłam w badaniach dla stanowiska Niepołomice.

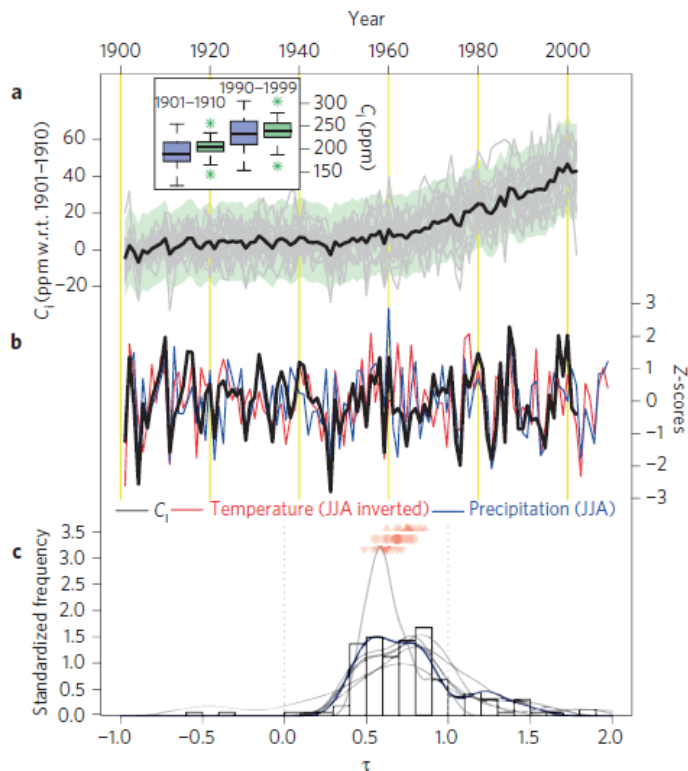
Celem artykułu była rekonstrukcja fizjologicznej odpowiedzi międzykomórkowego CO_2 wewnątrz liścia (c_i) w drzewach, spowodowana trendem zmian CO_2 w atmosferze związanym z działalnością człowieka. Wartości koncentracji wewnątrzkomórkowego CO_2 zostały wyznaczone w oparciu o wzór 1.7 z uwzględnieniem dodatkowego frakcjonowania występującego już po procesie fotosyntezy. W badaniach antropopresji konieczne było usunięcie sygnału klimatycznego z danych izotopowych. W czasie spotkań wykonawców projektu ISONET przedstawiałam chronologie izotopowe oraz wyniki korelacji danych izotopowych z lokalnymi danymi klimatycznymi dla Suwałk oraz uczestniczyłam w opracowaniu danych dla Niepołomic. Obliczałam również koncentrację międzykomórkowego CO_2 wewnątrz liścia oraz rzeczywistą efektywność wykorzystania wody z wykorzystaniem węglowych chronologii izotopowych dla polskich stanowisk. W czasie pisania artykułu czuwałam nad poprawnością otrzymanych wyników dla polskich stanowisk. W artykule, a zwłaszcza w suplemencie, przedstawione są wyniki dla poszczególnych stanowisk. Jednakże celem artykułu jest przede wszystkim zebranie informacji ze wszystkich stanowisk i przedstawienie syntetycznych danych dla całej Europy (Ryc. 2.7-9). W celu usunięcia sygnału klimatycznego z oszacowanej w oparciu o $\delta^{13}\text{C}$ wartości koncentracji wewnątrzkomórkowego CO_2 (c_i) została zastosowana numeryczna procedura

optymalizacyjna z parametrem kontrolnym τ wyrażającym zmiany w przewodności szparkowej dla CO_2 , przedstawionym na rycinie 2.8.



Ryc.2.7. Rozmieszczenie stanowisk z projektu ISONET – 9 dla drzew liściastych (zielone kwadraty) i 14 dla iglastych (niebieskie diamenty). Stanowiska dla drzew iglastych są rozdystrybuowane od Skandynawii po obszar śródziemnomorski, stanowiska drzew liściastych są skoncentrowane w Europie Centralnej. Antykorelacja między wysokością nad poziomem morza położenia stanowiska a szerokością geograficzną (na wstawionym wykresie) odzwierciedla obniżenie górnej granicy lasu, jak również ekologiczny i antropogeniczny efekt narzucający rozmieszczenie długożyjących drzew. Kolory wskazują wyznaczoną przy użyciu modelowania transpirację przez ostatnią dekadę. Rycina pochodzi z pracy B8.

Stwierdzono, że w XX wieku wzrostowi c_a o 1 ppmv towarzyszy wzrost c_i o $0,76 \pm 0,28$ ppmv. W artykule wykazano również, że drzewa liściaste mają wyższe wartości τ niż iglaste (mediana 0,81 i 0,65 odpowiednio). Na obszarze Europy zanotowano wzrost efektywności wykorzystania wody w XX wieku (ryc.2.9) dla miejsc reprezentowanych zarówno przez liściaste, jak i iglaste drzewa o $14 \pm 10\%$ i $22 \pm 6\%$ odpowiednio (w porównaniu z okresem 1901-1910). Poza tym, dla europejskich lasów został oszacowany 5% wzrost transpiracji w XX wieku (ryc.2.9). Artykuł pokazuje, że antropogeniczna emisja CO_2 spowodowała na dużą skalę fizjologicznie indukowaną zmianę, która powoduje wzrost strumienia pary wodnej pomimo zamknięcia szparek. Ten proces może prowadzić do przeciwnych efektów: z jednej strony zwiększona ewapotranspiracja może zmniejszać temperaturę powierzchni ziemi, a drugiej strony – zwiększona ewapotranspiracja może powodować ocieplenie z powodu pary wodnej i procesów zwrotnych w hydrogeologii gleby.

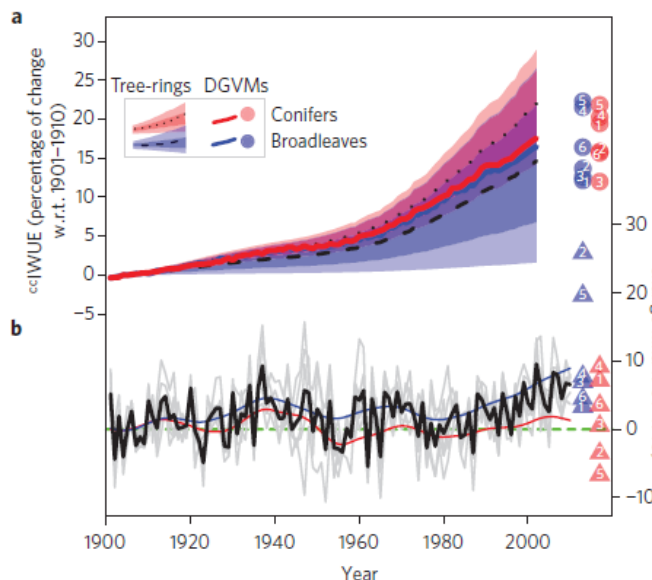


Ryc.2.8. Zmiany w międzykomórkowej koncentracji CO₂

(a) Rekonstrukcja C_i w stosunku do poziomu w latach 1901-1910. Zmiany w wewnątrzkomórkowej koncentracji CO₂ na bazie pomiarów izotopowych dla każdego z 23 europejskich stanowisk (szary kolor), ich średniej (czarny) i niepewności (jasnozielony). Wstawiony wykres pokazuje wartości C_i uzyskane w wyniku symulacji dynamicznego globalnego modelu wegetacyjnego – DGVM (kolor niebieski) i zrekonstruowane na bazie przyrostów rocznych.

(b) Wartości średnie C_i po zastosowaniu filtra górno-przepustowego (kolor czarny) oraz średnie temperatury oraz suma opadów atmosferycznych w miesiącach letnich (JJA – czerwiec, lipiec, sierpień) dla punktów gridowych położonych najbliższej stanowisk.

(c) Wzrost w międzykomórkowej koncentracji CO₂ ($^{cc}C_i$) spowodowany zmianą w C_a oszacowany po usunięciu składowych klimatycznych dla każdego ze stanowisk. Wygładzone krzywe na wykresie są oszacowaną gęstością, biorąc pod uwagę klimatyczny wpływ 5 instrumentalnych parametrów (kolor szary) oraz ich pierwszych głównych składowych dla każdego stanowiska (kolor niebieski). Wartości τ mniejsze niż 1 wskazują wzrost w $^{cc}iWUE$. Wartości w zakresie 0,5-0,7 (czerwone kółka) i ich górne i dolne poziomy ufności (czerwone trójkąty) byłyby wymagane do utrzymania stałego stosunku $^{cc}C_i/C_a$. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B8.



Ryc.2.9. Zmiany rzeczywistej efektywności wykorzystania wody i transpiracji w porównaniu z okresem 1901-1910. Czasowe zmiany w XX wieku europejskiego bilansu wodnego.

(a) $^{cc}iWUE$ – górny i dolny decyl (jasne odcienie), 22 i 78 percentyl (ciemne odcienie) i oszacowana mediana (przerwana linia) dla drzew liściastych i iglastych do 2002 roku. Zespół średnich otrzymanych z zastosowaniem 6 dynamicznych globalnych modeli wegetacyjnych (DGVM) dla różnych typów funkcjonalnych roślin – PTF (linia ciągła) wraz ze średnią dla dekady około 2002 (kółka: 1 = CLM4CN; 2 = LPJ; 3=LPJ-GUESS; 4 = SDGVM; 5 = TRIFFID; 6 = ORCHIDEE)

(b) Zmiany w transpiracji dla typów funkcjonalnych drzew otrzymane w wyniku zastosowania 6 modeli DGVM (szara linia), średnia dla tych modeli (czarna linia) oraz wygładzona dla drzew liściastych (niebieska) i iglastych (czerwona). Kolory trójkątów jak w (a) dla 2001-2010. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B8.

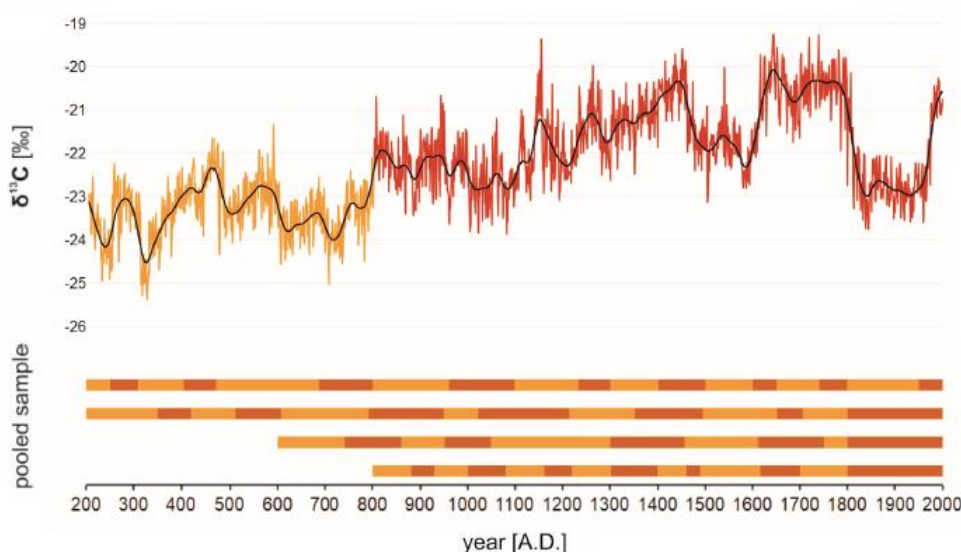
B9. Kłusek M., Grabner M., [Pawełczyk S.](#), Pawlyta J. 2019. An 1800-year stable carbon isotope chronology based on sub-fossil wood from Lake Schwarzensee, Austria. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 514: 65–76; doi:10.1016/j.palaeo.2018.10.003.

IF czasopisma: brak dla roku 2019, rok 2017 - 2,375;

liczba cytowań: brak;

punkty MNiSW: brak dla roku 2019, 40 (ujednolicona lista A 2013-2016).

Artykuł jest efektem pracy w charakterze eksperta w projekcie finansowanym przez FWF (*Austrian Science Fund*): P23998 *Tree-ring climate reconstruction – continuation*, którym kierowała dr Marzena Kłusek. Rola eksperta polegała na czuwaniu nad poprawnością wykonywanych pomiarów stosunków izotopów stabilnych węgla w α -celulozie przyrostów rocznych drzew, a co za tym idzie – na uczestnictwie w pomiarach i opracowaniu chronologii izotopowej. Artykuł prezentuje 1800-letnią węglową chronologię izotopową, stworzoną w oparciu o drewno subfossilne pozyskane z pni świerków zdeponowanych w jeziorze Schwarzensee (47°31'N, 13°49'E, 1450 m n.p.m.). Chronologia izotopowa (ryc. 2.10) została opracowana celem rekonstrukcji warunków klimatycznych we wschodnich Alpach. Dla obszaru jeziora Schwarzensee można pozyskać dane gridowane średnich miesięcznych temperatur dla lat 1780-2000 oraz sum opadu dla lat 1800–2000. Z kolei w latach 1884-2000 były prowadzone pomiary promieniowania słonecznego w stacji Kremsmünster. Tak długie ciągi danych meteorologicznych pozwoliły na wyciągnięcie istotnych statystycznie wniosków dotyczących reakcji drzew na zmiany klimatu.



Ryc.2.10. The upper part of the figure shows Schwarzensee stable carbon isotope chronology and this chronology smoothed using spline fit with 50% variance cut off at wavelength of 50 years. An inadequate sample replication (below 4 trees) which occurs in years 200–799 CE is marked with yellow colour. The lower part of the figure presents the sample depth of Schwarzensee chronology. Each from the four horizontal bars is divided into segments that correspond to individual trees. Rycina wraz z opisem pochodzi z pracy B9.

W analizach klimatycznych istotne było usunięcie trendu w wartościach $\delta^{13}\text{C}$ (zaniżenie wartości), związanego z emisją CO_2 ze spalania paliw kopalnych do atmosfery dla lat 1850-2000. Zastosowane zostały dwie różne metody korekty: *fossil fuel correction* oraz *PIN correction*. Mimo zastosowania korekty, korelacje między danymi izotopowymi a klimatycznymi dla lat 1950-2000 były nieistotne statystycznie, na co mogła mieć również wpływ działalność człowieka, która powodowała emisję

do atmosfery także innych zanieczyszczeń. W związku z tym, ten okres został wyłączone z analiz klimatycznych. Najwyższe współczynniki korelacji między danymi izotopowymi a parametrami klimatycznymi zostały wyznaczone dla letnich miesięcy lipca i sierpnia. Podobnie jak w przypadku innych alpejskich stanowisk również dla badanego stanowiska temperatura i promieniowanie słoneczne mają silny wpływ na wartości $\delta^{13}\text{C}$, natomiast suma opadów – raczej słaby, co może świadczyć o tym, że decydujący wpływ na wartości izotopowe ma wydajność procesu karboksylacji, a nie przewodność aparatów szparkowych. Oczywiście wnioskowanie na podstawie sumy opadów jest obarczone dodatkową niepewnością, gdyż o przewodności aparatu szparkowego decyduje wilgotność względna powietrza, a nie suma opadów na danym obszarze. Charakterystyka klimatyczna tego obszaru zdaje się potwierdzać takie przypuszczenia, gdyż charakteryzuje się on długimi mroźnymi zimami oraz krótkimi chłodnymi lub łagodnymi latami, a opady deszczy występują głównie w cieplejszych miesiącach. Tym, co szczególnie wyróżnia chronologię izotopową dla badanego stanowiska Schwarzersee jest długość chronologii, która może stanowić podstawę do rekonstrukcji klimatycznych obejmujących niemal 2000 lat.

ZA SWÓJ ORYGINALNY WKŁAD W PRACE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA UWAŻAM:

- Badania dotyczące zmian klimatu i środowiska w oparciu o stosunki izotopów stabilnych w przyrostach rocznych drzew dla stanowisk Suwałki i Tatry oraz udział w badaniach dla stanowisk Niepołomice i Schwarzersee (B1-B9). Istotnym wkładem był również mój udział w projektach.
- Rozwój Gliwickiego Laboratorium Spektrometrii Mas poprzez udział w pozyskaniu finansowania na zakup spektrometru masowego IsoPrime wraz z analizatorem elementarnym EuroVector oraz prace związane z uruchomieniem stanowiska badawczego, czyli kalibracją spektrometru do rutynowych pomiarów oraz ciągły rozwój tak metodyki preparowania jak i pomiaru stosunków stabilnych izotopów (B1-B9).
- Stwierdzenie istnienia składowych deterministycznych w stworzonych chronologiach izotopowych dla stanowisk Suwałki i Tatry oraz udział w tego typu interpretacjach dla stanowisk Niepołomice i Schwarzersee (B1-B2, B4-B6, B8-B9).
- Interpretacje sygnału klimatycznego i antropogenicznego dla stanowisk Suwałki i Tatry oraz udział w interpretacjach dla Niepołomic i Schwarzersee (B1-B9).
- Stwierdzenie istotnych statystycznie korelacji między danymi meteorologicznymi, zwłaszcza dotyczącymi miesięcy letnich, a składem izotopowym α -celulozy przyrostów rocznych drzew dla stanowisk Suwałki i Tatry oraz udział w pracach przy podobnych interpretacjach dla stanowisk Niepołomice i Schwarzersee (B1-B2, B4-B6, B8-B9).
- Zaobserwowanie zmienności stabilności czasowej korelacji między danymi izotopowymi a klimatycznymi dla stanowiska położonego w okolicach Suwałk oraz stanowiska Tatry. Obserwacja ta wskazała, że współcześnie sygnał klimatyczny w izotopach przyrostów rocznych drzew jest mniej czytelny niż w okresie o mniejszej antropopresji (B4, B5, B9).
- Zrekonstruowanie temperatury w oparciu o stosunki izotopów stabilnych dla stanowiska badawczego w okolicach Suwałk (B4).
- Zrekonstruowanie efektywnego wykorzystania wody iWUE dla polskich stanowisk Suwałki i Niepołomice oraz udział w oszacowaniu wzrostu tego współczynnika dla obszaru Europy, jak również szacowaniu zmian transpiracji dla Europy dla ostatnich 100 lat (B8).

- Udział w wykazaniu różnic w zapisie izotopowym dla drzew liściastych i iglastych poprzez opracowania danych izotopowych dla polskich stanowisk Suwałki i Niepołomice (B6, B8).
- Znalezienie wpływu działalności człowieka, a zwłaszcza emisji CO₂ pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, na stosunki izotopów stabilnych jak również na koncentrację radiowęglą (B1, B3 – B6, B8-B9) oraz stwierdzenie, że zapis działalności człowieka w wartościach $\delta^{13}C$ oraz $\Delta^{14}C$ nie jest identyczny.
- Potwierdzenie przydatności drewna subfossilnego pozyskanego ze zdeponowanych w jeziorze Schwarzersee pni do ekstrakcji α -celulozy, jak również brak konieczności ekstrakcji w kolumnie Soxhleta (B7).
- Wprowadzenie polskich stanowisk badawczych Suwałki i Niepołomice do opracowań dotyczących obszaru całej Europy (B2, B8).
- Poszerzenie wiedzy o zmianach klimatu i środowiska przyrodniczego oraz funkcjonowaniu organizmów roślinnych. Uzyskane wyniki mają znaczenie poznawcze i są chętnie wykorzystywane w opracowaniach naukowych innych autorów, o czym świadczy znaczna liczba cytowań artykułów wchodzących w skład cyklu, który został wskazany jako osiągnięcie habilitacyjne (*Web of Science*: 294, *Scopus*: 307, *Google Scholar*: 375).

5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO - BADAWCZYCH.

A) OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

Rozpoczynając w 1992 roku studia na kierunku Fizyka Techniczna na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej od samego początku byłam przekonana o wyborze specjalności fizyka środowiska. W trakcie rozmów przed rozpoczęciem studiów i w ich trakcie zafascynowała mnie możliwość interdyscyplinarnej współpracy między specjalistami z różnych dziedzin – fizyki, geologii, archeologii, biologii i wielu innych, o której opowiadali pracownicy Zakładu Zastosowań Radioizotopów. W 1995 roku jako studentka uczestniczyłam biernie w V Konferencji „Metody Chronologii Bezwzględnej” na zaproszenie profesora Mieczysława F. Pazdura, głównego inicjatora powstania specjalności fizyka środowiska. Konferencja ta była doskonałym przykładem wymiany wiedzy i doświadczeń między osobami zaangażowanymi w datowania i użytkownikami uzyskanych dat, czyli geologami, archeologami oraz przyrodnikami. W 1996 roku miałam możliwość odbycia praktyk studenckich w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów. Mogłam wówczas po raz pierwszy pracować w laboratorium pomagając przy preparatyce wstępnej próbek oraz uzupełnianiu bazy danych dla próbek datowanych metodą ¹⁴C w Gliwickim Laboratorium Radiowęglowym. Rolę opiekuna podczas mojej praktyki sprawowała profesor Anna Pazdur, ówczesny kierownik Zakładu Zastosowań Radioizotopów. Pracę magisterską: „*Koncentracja radiowęglą w przyrostach rocznych drzew z rejonu Górnego Śląska*” zrealizowałam we wcześniej wspomnianym zakładzie również pod opieką pani profesor. Pracę obroniłam 16 lipca 1997 roku z wynikiem bardzo dobrym. Jeszcze przed obroną pracy pani profesor zaproponowała mi kontynuację pracy w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów poprzez zatrudnienie na stanowisku asystenta i podjęcie studiów doktoranckich.

W 1997 roku zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta w Instytucie Fizyki na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Politechniki Śląskiej i jednocześnie urlopowana na czas studiów doktoranckich, które kontynuowałam w latach 1997 – 2002. W początkowym okresie studiów doktoranckich zajmowałam się badaniami koncentracji radiowęglą w przyrostach rocznych drzew

z rejonu Augustowa. Badania tego typu były możliwe dzięki wykorzystaniu spektrometru ciekłoscyntylacyjnego Quantulus. W trakcie realizacji mojej pracy doktorskiej narodził się pomysł, aby nie ograniczać wykorzystania węgla zawartego w przyrostach rocznych drzew tylko do analizy wpływu człowieka na środowisko, ale również do analiz zmian klimatu. Tego typu badania wymagały jednak pomiaru stosunków izotopów stabilnych węgla, a zatem wykorzystania spektrometrii mas. W czasie realizowania mojej pracy doktorskiej Zakład Zastosowań Radioizotopów nie dysponował spektrometrem masowym. Konieczne zatem było podjęcie współpracy naukowej. Dzięki uprzejmości profesora Stanisława Hałasa z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie mogłam wykonywać pomiary w prowadzonej przez niego Pracowni Spektrometrii Mas. Był to okres zdobywania ogromnego doświadczenia w dziedzinie izotopowej spektrometrii mas. Pan profesor był doskonałym specjalistą, chętnie dzielił się wiedzą i doświadczeniem oraz pomagał przy wszelkich trudnościach w czasie pomiarów. Dzięki współpracy pani profesor Anny Pazdur z profesorem Vincentem Royem Switsurem z University of Cambridge udało się pozyskać literaturę, która wskazywała na konieczność ekstrakcji z drewna przyrostów rocznych α -celulozy w przypadku wykorzystania $\delta^{13}C$ do interpretacji klimatycznych i środowiskowych. W ramach realizacji pracy doktorskiej przeprowadziłam z sukcesem próby ekstrakcji α -celulozy (Pawełczyk i Pazdur, 2000). Konieczne też stało się znaczne poszerzenie wiedzy z zakresu fizjologii i anatomii roślin oraz ich interakcji ze środowiskiem. Ostatecznie celem mojej pracy doktorskiej było ustalenie związku między zmianami składu izotopowego węgla w rocznych przyrostach sosny zwyczajnej pochodzącej z obszaru Puszczy Augustowskiej, a czynnikami kształtującymi środowisko. Oszacowanie ilościowe tego związku dla okresu czasu, dla którego dostępny jest zapis meteorologiczny temperatury i opadu atmosferycznego, zapis aktywności Słońca oraz emisji CO_2 ze spalania paliw kopalnych miało umożliwić w przyszłych badaniach wnioskowanie o zmianach środowiska na podstawie składu izotopowego węgla w rocznych przyrostach drzew. Badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej objęły:

- określenie stosunków izotopów stabilnych węgla w uzyskanym ze spalania α -celulozy CO_2 ,
- ustalenie związku między zmianami czynników klimatycznych, takich jak temperatura i opad atmosferyczny, a wartościami $\delta^{13}C$,
- pomiar koncentracji radiowęgla,
- ustalenie związku między aktywnością Słońca a koncentracją radiowęgla ($\Delta^{14}C$),
- określenie wpływu czynników antropogenicznych na wartości $\delta^{13}C$ oraz $\Delta^{14}C$.

W okresie przygotowywania rozprawy doktorskiej byłam głównym wykonawcą grantu promotorskiego 6PO4G05520 „Badania zmian środowiska naturalnego na podstawie składu izotopowego węgla w rocznych przyrostach drzew”. Prace naukowe opublikowane w tym okresie dotyczyły głównie metodyki przygotowania próbek drewna do pomiarów stosunków stabilnych izotopów węgla z wykorzystaniem spektrometrii masowej oraz wykorzystania pomiarów koncentracji radiowęgla do szacowania wpływu człowieka na środowisko (Pazdur i in., 1998; Pawełczyk i Pazdur, 2000; Rakowski i in., 2000, Rakowski i in., 2001)

Wyniki moich prac były też prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach, dzięki czemu zostały dostrzeżone przez badaczy z innych ośrodków. Jeszcze w trakcie moich studiów doktoranckich pani profesor Anna Pazdur wraz ze mną otrzymała od profesora Gerharda Schlesera z Forschungszentrum Jülich zaproszenie do uczestniczenia w przygotowaniu projektu i potencjalnego późniejszego w nim udziału. Projekt miał być złożony w ramach konkursu 5 Programu Ramowego Unii Europejskiej i dotyczyć wykorzystania izotopowych badań przyrostów rocznych drzew do rekonstrukcji klimatu. We wrześniu 2001 roku z inicjatywy pani profesor Anny Pazdur byłam na spotkaniu

zawiązującej się grupy projektowej ISONET w Juelich i przedstawiałam możliwości badawcze Zakładu Zastosowań Radioizotopów w zakresie badań izotopowych drzew. W spotkaniu brali udział przedstawiciele przeszło dziesięciu europejskich laboratoriów. Już na pierwszym spotkaniu toczyły się rozmowy związane z wyborem stanowisk badawczych. Późniejsze uzgodnienia odbywały się drogą mailową, a w ich rezultacie powstał wniosek projektowy, który po złożeniu w ramach 5 Programu Ramowego Unii Europejskiej uzyskał finansowanie. Jego realizacja rozpoczęła się w 2003 roku, już po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora.

Zwieńczeniem okresu moich studiów doktoranckich było przedstawienie w 2003 roku rozprawy doktorskiej pt. „*Badania zmian środowiska naturalnego na podstawie składu izotopowego węgla w rocznych przyrostach drzew*”, której promotorem była prof. dr hab. Anna Pazdur.

B) OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Okres po uzyskaniu stopnia doktora zdominowało na początku przygotowanie do realizacji projektu ISONET finansowanego w ramach 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej. Kontrakt został podpisany w 2002 roku, a sama realizacja rozpoczęła się w roku 2003. Konieczne było stworzenie w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów stanowisk, które pozwoliłyby na preparatykę wstępną dużej liczby próbek, gdyż badania miały początkowo objąć przynajmniej dwa stanowiska w Polsce i dla każdego z nich miały zostać przeprowadzone analizy obejmujące ostatnie 400 lat. W 2003 roku w Zakładzie Zastosowań rozpoczęła się też realizacja innego projektu również finansowanego w ramach 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej: EVK2-CT-2002-80008, GADAM – *Centre of Excellence "Gliwice Absolute Dating Methods"*, w którym byłam udział w charakterze wykonawcy. Pozyskanie projektów finansowanych przez Unię Europejską dało też możliwość ubiegania się o krajowe dofinansowanie projektu. Uczestniczyłam w pisaniu dwóch takich wniosków i zyskały one finansowanie z KBN (KBN 135/E-367/SPB/5.PR UE/DZ 390/2003-2005, *Special research project for the project ISONET*, 2003 – 2006, koordynator: Anna Pazdur oraz KBN 135/E-367/SPB/5.PR UE/DZ 389/2003-2005, *Special research project for the project GADAM*, 2003 – 2006, koordynator: Anna Pazdur). Projekty te pozwoliły na zakup spektrometru masowego w 2005 roku.

Od lutego 2003 roku przebywałam na urlopie macierzyńskim oraz wychowawczym. Podczas urlopów byłam w stałym kontakcie z grupą realizującą projekt ISONET w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów i zawsze służyłam pomocą merytoryczną. W tym czasie również nadal pracowałam naukowo i udało mi się opublikować artykuły związane z wykorzystaniem składu izotopowego węgla w przyrostach rocznych drzew do biomonitoringu emisji CO₂ oraz zastosowaniem stosunków stabilnych izotopów węgla jako wskaźników temperatury i lokalnych warunków środowiska, które częściowo obejmowały dane pozyskane w doktoracie (Pawełczyk i Pazdur, 2004; Pawełczyk i in., 2004; Pawełczyk i Pazdur, 2003).

W 2005 roku po powrocie z urlopu byłam zaangażowana w realizację projektów oraz instalację, uruchomienie i pomiary testowe dla nowo zakupionego spektrometru masowego IsoPrime pracującego w systemie przepływu ciągłego gazu (*Continuous Flow*) połączonego z również nowo zakupionym analizatorem elementarnym EuroVector. Wcześniej wykonywałam osobiście pomiary stosunków izotopów stabilnych węgla w Pracowni Spektrometrii Mas w Lublinie, jednak na zupełnie inaczej skonstruowanym spektrometrze MI-1305 (*Dual Inlet*), w przypadku którego istniała konieczność przeprowadzenia próbki w formę gazową przed pomiarem i dozowania otrzymanego gazu do spektrometru masowego (metoda *off-line*). Spektrometr IsoPrime pracuje razem z analizatorem

elementarnym i to pozwala na wykorzystanie próbek w stanie stałym i ich dalsze spalanie w analizatorze oraz bezpośredni pomiar przy użyciu spektrometru próbki już w stanie gazowym (metoda *on-line*). Duże znaczenie przy uruchamianiu nowego stanowiska aparaturowego miał udział w projekcie ISONET, gdyż istniała możliwość wykorzystania zestawu próbek testowych przesłanego do każdego laboratorium biorącego udział w projekcie i porównania otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi w innych laboratoriach. Uzyskana zgodność była statystycznie istotna, co pozwoliło nam rutynowo wyznaczać stosunki izotopowe stabilnych izotopów węgla i tlenu. Zdobyte doświadczenia w powstałym Laboratorium Spektrometrii Mas w Gliwicach znacznie zwiększyły moje doświadczenie badawcze i pozwoliły na udział i kierowanie kolejnymi projektami badawczymi. Moje doświadczenie miałam jeszcze okazję pogłębić w trakcie realizacji projektu ATIS (MTKD-CT-2005-029642, Marie Curie Actions). W ramach tego projektu w okresie od kwietnia do lipca 2007 roku w Laboratorium Spektrometrii Mas w Gliwicach w charakterze eksperta pracował Pier Anne de Groot reprezentujący Delta Isotopes Consultancy. Pier A. de Groot jest wybitnym specjalistą w dziedzinie technik analitycznych izotopów stabilnych. Jest on głównym autorem i edytorem składającego się z dwóch tomów *Handbook of Stable Isotope Analytical Techniques*. W trakcie jego pobytu w naszym laboratorium miałam możliwość korzystania z jego doświadczenia i konsultowania wielu problemów naukowych, zwłaszcza tych związanych z techniką pomiarową z użyciem spektrometru IRMS.

Z instalacją spektrometru i jego kalibracją zbiegły się w czasie intensywne prace związane z projektem ISONET. Byłam w tym projekcie odpowiedzialna za chronologie izotopowe dla stanowiska Suwałki oraz uczestniczyłam w badaniach związanych ze stanowiskiem Niepołomice. Lata 2005 – 2006 to okres intensywnej współpracy w ramach grupy ISONET. Była to współpraca zarówno na płaszczyźnie krajowej, jak i międzynarodowej. Pani profesor Anna Pazdur była ze strony polskiej koordynatorem projektu. W ramach naszej polskiej grupy badawczej oprócz zespołu z Zakładu Zastosowań Radioizotopów pracował profesor Stanisław Hałas – specjalista od spektrometrii masowej (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie) oraz dendrochronolog: Zbigniew Bednarz (Uniwersytet Rolniczy w Krakowie), Marek Krąpiec i Elżbieta Szychowska-Krąpiec (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie). Współpraca pozwoliła mi znacznie poszerzyć wiedzę z zakresu dendrologii, dendrochronologii oraz dendroklimatologii. W zakresie pomiarów spektrometrycznych współpracowałam ściśle z profesorem Stanisławem Hałasem z Uniwersyteut Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie oraz Tatjaną Boettger i Mariką Haupt z UFZ-Umweltforschungszentrum w Leipzig-Halle, gdzie była wykonywana część pomiarów wartości $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ oraz przygotowana została z α -celulozy nitroceluloza i dla niej przeprowadzone zostały pomiary wartości δ^2H . W czasie realizacji projektu miałam możliwość trzykrotnie uczestniczyć w ISONET Meeting: w Bernie (październik 2005), w Krakowie (marzec 2006 – współorganizator) oraz w Juelich (lipiec 2006). Spotkania miały nie tylko charakter sprawozdawczy z przeprowadzonych badań, ale także pozwalały zapoznać się z pracą innych laboratoriów wykorzystujących spektrometrię mas, jak również zajmujących się badaniami dendrochronologicznymi oraz przede wszystkim stanowiły platformę opracowywania wspólnej strategii publikacyjnej. Na spotkaniach prezentowałam dane izotopowe dla stanowiska Suwałki, korelacje między danymi izotopowymi a klimatycznymi (temperatura, opad, wilgotność) oraz stabilność sygnału klimatycznego w czasie, jak również możliwości odseparowania sygnału klimatycznego od antropogenicznego. Projekt ISONET poszerzył moje horyzonty badawcze i dał mi szansę pracować nie tylko w dziedzinie izotopów węgla, ale również izotopów tlenu i wodoru. W 2007 roku zostałam zaproszona na: *ESF-Workshop: Stable Isotopes In Dendroclimatology – Current Status and Future Prospects* w Poczdamie. Koszty mojego uczestnictwa zostały pokryte przez *European*

Science Foundation (ESF). Organizatorami ESF-Workshop byli: *Forschungszentrum Jülich* i *University of Wales Swansea* przy wsparciu *European Science Foundation* (ESF). Warsztaty miały miejsce w *GeoForschungszentrum Potsdam* (GFZ). Zgodnie z tematem było to podsumowanie wiedzy dotyczącej zastosowania izotopów stabilnych w dendroklimatologii oraz wskazanie nowatorskich pomysłów w tej dziedzinie. W trakcie warsztatów była możliwość krótkiej prezentacji swoich wyników badań, jak również szerokiej i wnikliwej dyskusji z wiodącymi naukowcami pracującymi w dziedzinie zastosowania izotopów stabilnych w badaniach związanych ze zmianami klimatu i środowiska. Spotkania oraz warsztaty pozwoliły mi wzbogacić warsztat badawczy i nawiązać liczne kontakty międzynarodowe, które owocowały w dalszej pracy laboratoryjnej i naukowej. Praca nad wspólnymi publikacjami nie zakończyła się wraz z zakończeniem projektu, ale trwa do dnia dzisiejszego. Efektem tego projektu są publikacje dotyczące zarówno interpretacji klimatycznych dla zgromadzonych danych izotopowych, jak również oceny wpływu człowieka na środowisko, które ukazały się drukiem w czasopiśmie z listy JRC: Szczepanek i in., 2006; Treydte i in., 2007; Pazdur i in., 2007; Pazdur i in., 2013; Voelker i in., 2014; Frank i in., 2015, jak również w krajowych wydawnictwach: Pawełczyk i in., 2006 i 2007. W 2011 roku został złożony artykuł do *Science: Air pollution causes large scale reductions of stomatal conductance in European forests* (Berninger i in.), a w 2017 do *Global Change Biology: Physiological drivers of forest growth in Europe derived from carbon and oxygen isotopes* (Shestakova i in.). Artykuły nie ukazały się. Prace związane z danymi z projektu ISONET wciąż trwają, czego dowodem jest złożona do *Global Ecology and Biogeography* w listopadzie 2018 roku publikacja: *Spatiotemporal patterns of tree growth as related to carbon isotope fractionation in European forests under changing climate* (Shestakova i in.).

Tematyka związana z sygnałem klimatycznym i antropogenicznym zawartym w przyrostach rocznych drzew pozostawała w centrum moich zainteresowań. Kolejny urlop macierzyński i wychowawczy (maj 2008 – styczeń 2010) przerwały moje bezpośrednie zaangażowanie w badania, ale już w czasie urlopu wychowawczego wystąpiłam w charakterze kierownika z propozycją projektu do MNiSW. W 2009 roku otrzymałam finansowanie projektu zatytułowanego: „*Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko dla obszarów górskich Europy Środkowej*” (N N305 155737). Projekt objął badania zmian stosunków izotopów stabilnych węgla, tlenu i azotu w przyrostach rocznych drzew w zestawieniu z tradycyjnymi technikami dendrochronologicznymi (szerokość przyrostu, gęstość drewna) dla obszarów górskich Europy Środkowej. Badania dotyczyły ostatnich 150 lat, a zatem okresu najintensywniejszych przemian środowiska wywołanych narastającą antropopresją i zmianami klimatycznymi. Badaniami zostały objęte 3 stanowiska świerka (*Picea abies* L. Karst) tworzące transekt o przebiegu północny-zachód/południowy-wschód o długości ponad 650 km (Sudety, Karkonosze, Masyw Śnieżki; Tatry, Dolina Rostoki; Ukraina, Czarnohora, Howerla). Podczas realizacji projektu współpracowałam z Ryszardem Kaczką z Uniwersytetu Śląskiego, który był odpowiedzialny za pobór próbek i opracowanie chronologii lokalnych dla drzew. Projekt zakładał pomiary stosunków izotopów stabilnych azotu w drewnie, które wcześniej nie były wykonywane. Ze względu na bardzo małą zawartość azotu w drewnie (przeciętnie 0,12%), musiałam dostosować procedury pomiarowe do pomiarów próbek o dużej masie w stosunku do mierzonych uprzednio. Efektem realizacji projektu był szereg wystąpień konferencyjnych oraz publikacje: Pawełczyk, 2011(2013); Kaczka i Pawełczyk, 2010; Pawełczyk i in., 2012.

W roku 2012 rozpoczęłam udział w dwóch projektach badawczych. Jednym z nich był projekt finansowany przez *Austrian Science Fund (FWF)*: *P23998 Tree-ring climate reconstruction – continuation*, którym kierowała dr Marzena Kłusek reprezentująca *University of Natural Resources and*

life Sciences, BOKU w Wiedniu, a w którym byłam członkiem dwuosobowego zespołu eksperckiego, którego zadaniem było czuwanie nad poprawnością wyników uzyskanych w czasie badań izotopowych oraz zapewnienie optymalnej kalibracji spektrometru masowego. Jeszcze przed rozpoczęciem badań izotopowych obejmujących 1800-letnią chronologię dla przyrostów rocznych drzew pozyskanych z jeziora Schwarzersee w Alpach Austriackich zaproponowałam optymalizację preparatyki wstępnej drewna subfosylnego, dla którego wcześniej nie były wyznaczane stosunki stabilnych izotopów węgla w gliwickim Laboratorium Spektrometrii Mas. Efektem tego etapu badań jest publikacja z 2014 roku w Geochronometrii (Kłusek i Pawełczyk, 2014). Już po zakończeniu projektu uzyskane wyniki dla węglowej chronologii izotopowej zostały przedstawione w artykule: *An 1800-year stable carbon isotope chronology based on sub-fossil wood from Lake "Schwarzensee", Austria*, który został opublikowany w 2019 roku w *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Kłusek i in., 2019).

Drugim z projektów realizowanych od 2012 roku był projekt NCN: UMO-2011/03/D/ST10/05251, *Drzewa jako bioindykatory przemysłowych zanieczyszczeń powietrza w okresie wdrażania pro-ekologicznej polityki na obszarze Śląska (Trees as bioindicators of industrial air pollution during implementation of pro-environmental policy in Silesia region)*, którym kierowała dr inż. Barbara Sensuła, a w którym byłam wykonawcą. W tym projekcie służyłam pomocą merytoryczną oraz uczestniczyłam w przygotowaniu danych dotyczących zanieczyszczeń i danych meteorologicznych. Jestem współautorką prezentacji konferencyjnych, które dotyczyły wyników tego projektu oraz publikacji opublikowanej w czasopiśmie *Dendrochronologia: Long- and short-term incremental response of Pinus sylvestris L. from industrial area nearby steelworks in Silesian Upland, Poland* (Sensuła i in., 2015).

W 2013 roku podjęłam współpracę ze Stevenem L. Voelkerem z Wydziału Biologii *Southern Oregon University* w Stanach Zjednoczonych w ramach poszukiwania danych dotyczących cyklu hydrologicznego zapisanego w $\delta^{18}O$ oraz δ^2H (δD) przyrostów rocznych drzew. W ramach współpracy powstał artykuł, którego celem było stworzenie możliwości rekonstrukcji wilgotności względnej w oparciu o wartości $\delta^{18}O$ oraz δ^2H w roślinach z wykorzystaniem odchylenia dla deuteru od globalnej zależności między $\delta^{18}O$ a δ^2H (*Global Meteoric Water Line*). Artykuł: *Reconstructing relative humidity from plant $\delta^{18}O$ and δD as deuterium deviations from the global meteoric water line* został opublikowany w 2014 roku w czasopiśmie *Ecological Applications*. Wykazał, że zastosowanie dwóch izotopów może stanowić drogę do poznania prawdopodobnego pochodzenia artefaktów składających się na przykład z kilku przyrostów drzew, pojedynczych włókien roślinnych, fragmentów papieru, liny lub tkaniny pochodzenia organicznego. Taka informacja mogłaby rzucić nowe światło na kulturę materialną i szklaki handlowe dawnych cywilizacji.

Moje zainteresowania naukowe nie ograniczały się wyłącznie do zastosowania izotopów stabilnych, ale uczestniczyłam również w badaniach związanych z pomiarem koncentracji radiowęgla. W latach 2010 – 2013 realizowany był projekt: *Izotopowa metoda monitoringu antropogenicznej emisji CO₂ z wykorzystaniem przyrostów rocznych drzew dla obszaru Górnego Śląska* (N N305 097039) kierowany przez profesor Annę Pazdur, w którym byłam wykonawcą. Projekt dotyczył oszacowania bieżącej emisji CO₂ oraz jej rekonstrukcji na podstawie badań izotopowych wykorzystujących roczne przyrosty drzew z obszaru Gliwic i ich bezpośredniego sąsiedztwa. Uczestniczyłam w interpretacjach wyznaczonych wartości $\delta^{13}C$ oraz $\Delta^{14}C$ zarówno dla atmosferycznego CO₂, jak i α -celulozy pochodzącej z przyrostów rocznych drzew oraz wyznaczeniu udziału dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych i jego sezonowej zmienności. Poszukiwałam również korelacji między wartościami izotopowymi ($\delta^{13}C$ oraz $\Delta^{14}C$) a stężeniem zanieczyszczeń powietrza. Wyniki były kilkakrotnie

prezentowane na konferencjach oraz są przedmiotem publikacji: *Human activity recorded in carbon isotopic composition of atmospheric CO₂ in Gliwice urban area and surroundings (Southern Poland) in the years 2011-2013*, która została złożona do czasopisma *Radiocarbon* w 2017 roku.

We wcześniejszym okresie w Gliwickim Laboratorium Radiowęglowym we współpracy z profesorem Toshio Nakamurą (Nagoya University, Center for Chronological Research, Nagoya, Japan) wykonane zostały pomiary koncentracji ¹⁴C dla próbek α-celulozy uzyskanej z przyrostów rocznych sosny ze stanowiska Niepołomice. Dla tych samych próbek w projekcie ISONET wyznaczone zostały wartości δ¹³C, co umożliwiło porównanie zapisu antropopresji w wartościach koncentracji radiowęgla oraz wartościach stosunków stabilnych izotopów węgla. Wyniki dla lat 1960-1999 wskazały na to, że puszcza Niepołomicka charakteryzuje się niską wartością dodatnią parametru ¹⁴S opisującego efekt Suessa, co mogłoby świadczyć o tym, że jest regionem o niskiej antropopresji mimo bliskości dużej aglomeracji miejskiej, jaką jest Kraków (Pazdur i in., 2007). W artykule zostały również porównane wartości δ¹³C i parametru ¹⁴S dla obszaru Niepołomic oraz Suwałk. Przedmiotem analiz były także wartości δ¹³C oraz Δ¹⁴C podczas minimów Maundera i Daltona aktywności słonecznej. Uczestniczyłam również w dalszych analizach wartości Δ¹⁴C dla Niepołomic. Wyniki pomiarów koncentracji radiowęgla w przyrostach rocznych drzew z Niepołomic okazały się bardzo zbliżone dla danych reprezentujących „obszary czyste” dla strefy 1 półkuli północnej (NH zone1) i mogły zostać wykorzystane jako wartości referencyjne do obliczenia składowej pochodzącej ze spalania paliw kopalnych dla aglomeracji Krakowskiej (Rakowski i in, 2013). Wyniki te weszły również w skład szerokiego zestawienia analiz składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO₂ na południu Polski będącego tematem publikacji w czasopiśmie *Radiocarbon* (Pazdur i in., 2013). W tym artykule jestem autorem prezentowanego modelu 1, który miał na celu oszacowanie emisji CO₂ dla Puszczy Niepołomickiej na bazie zmierzonych wartości δ¹³C w α-celulozie przyrostów rocznych sosny oraz przyrostów letnich dębu. W pracy tej przedstawiono również alternatywną hipotezę, iż za brak zaniżenia koncentracji radiowęgla w przyrostach drzew z Puszczy Niepołomickiej odpowiedzialny jest CO₂ pochodzący z rozkładu materii organicznej w środowisku leśnym, który ma zawyżoną koncentrację izotopu ¹⁴C i powoduje maskowanie efektu antropogenicznego.

W 2014 roku grupa badawcza z Zakładu Zastosowań Radioizotopów składająca się z Anny Pazdur, Natalii Piotrowskiej oraz mnie otrzymała zaproszenie od Hansa-Baldera Havenitha z *Universite de Liège* do udziału w przygotowaniu projektu w ramach MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTIONS – *Innovative Training Networks* zatytułowanego: *Quake-scenarios in mountain environments: from paleo-records to impact prediction* (QUASCAD), w którym miało wziąć udział około 20 różnych jednostek naukowych. W ramach tego projektu Politechnika Śląska miał być partnerem i realizować zadania związane z szkoleniami oraz organizacją warsztatów dotyczących metod datowania. Projekt nie uzyskał finansowania.

W początkowym etapie mojej pracy badawczej ograniczałam się do pomiarów izotopowych w przyrostach drzew. Współpraca z Instytutem Biologii Ssaków PAN w Białowieży od 2015 roku spowodowała, że w obszarze moich zainteresowań znalazły się również analizy izotopowe tkanek zwierzęcych. Jako wykonawca grantu: *Zróżnicowanie genetyczne i wybiórczość środowiskowa jelenia szlachetnego (Cervus elaphus) w Europie i Azji w późnym plejstocenie i holocenie* (2013/11/B/NZ8/00888), kierowanego przez Magdalenę Niedziałkowską, byłam odpowiedzialna za wykonanie dla 150 próbek pomiarów δ¹³C i δ¹⁵N w kolagenie pochodzącym z kopalnych kości jeleni oraz oznaczenia stosunku atomowego zawartości węgla do azotu (C/N), który jest wskaźnikiem jakości kolagenu, a co za tym idzie jego możliwości wykorzystania do pozyskania dat radiowęglowych.

Dodatkowo koordynowałam porozumienie o współpracy naukowej nr 365/RIF/RR8/2015 z dnia 15.06.2015 zawarte między Politechniką Śląską a Instytutem Biologii Ssaków PAN w Białowieży. W ramach realizacji projektu w celu pomiarów stosunków stabilnych izotopów węgla i azotu konieczne stało się opracowanie metody pomiarowej, która pozwoliła na jednoczesny pomiar $\delta^{13}C$ i $\delta^{15}N$ przy użyciu spektrometru IsoPrime pracującego z analizatorem elementarnym EuroVector. Opracowałam również metodę oznaczania stosunku C/N dla kolagenu, który wcześniej nie był wyznaczany w gliwickim Laboratorium Spektrometrii Mas. W czasie realizacji projektu musiałam poszerzyć wiedzę o frakcjonowaniu izotopowym w łańcuchach pokarmowych oraz o analizach dotyczących paleodiety. Jednym z celów projektu było porównanie zróżnicowania genetycznego i zasięgu populacji jelenia z warunkami klimatycznymi i środowiskowymi, jakie występowały na obszarach zamieszkiwanych przez te populacje. Warunki te miały być rekonstruowane w oparciu między innymi o analizy izotopów węgla i azotu. Projekt zakładał także oszacowanie, jaki wpływ na obecnie obserwowane zróżnicowanie genetyczne jelenia miała działalność człowieka w czasach historycznych. Izotopy stabilne węgla miały także wskazać preferencje siedliskowe jeleni (otwarte przestrzenie czy obszary leśne) na przestrzeni czasu. Uzyskane wyniki były prezentowane na konferencjach naukowych. Niejako kontynuacją projektu jest kolejny projekt: *Czynniki kształtujące zmienność poziomu izotopów stabilnych węgla ^{13}C i azotu ^{15}N w kolagenie kostnym jelenia szlachetnego (*Cervus elaphus*), zasiedlającego różne środowiska* (2016/23/N/NZ8/03995), którym kieruje Maciej Sykut, a w którym od 2017 roku wykonuję pomiary izotopowe oraz oznaczenia C/N. Cel tego projektu jest nieco inny i zakłada porównanie składu izotopowego w zależności od zasiedlanego środowiska, płci osobnika i jego wieku oraz między różnymi częściami szkieletu. Wyniki projektu mają umożliwić powstanie swoistej bazy danych umożliwiającej precyzyjne określenie warunków klimatycznych i środowiskowych, jakie panowały na obszarach zasiedlanych przez jelenie w przeszłości.

W 2017 roku nawiązałam współpracę z Brygidą Wawrzyniak-Wydrowską z Uniwersytetu Szczecińskiego i w ramach przygotowania do złożenia wniosku projektowego do NCN wykonałam pilotażowe pomiary izotopowe ($\delta^{13}C$ i $\delta^{15}N$) dla materii organicznej dwóch gatunków małż (*Dreissena polymorpha* i *D. rostriformis bugensis*) występujących w ujściu rzeki Odry. Celem projektu jest zbadanie interakcji między dwoma gatunkami małż na wczesnym etapie imigracji jednego z gatunków do obszaru zamieszkałego przez inny gatunek. Izotopy stabilne mogą pomóc w określeniu poziomu troficznego poszczególnych gatunków. Projekt został złożony do NCN w 2017 roku i po recenzjach ponownie w 2018 roku.

Od 2017 roku współpracowałam także z Jackiem Tomczykiem z Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz Łukaszem Stanaszkiem z Państwowego Muzeum Archeologicznego w Warszawie w dziedzinie wykorzystania nowoczesnych analiz biochemicznych w badaniach starych materiałów – mezolitycznych szczątków ludzkich. Natalia Piotrowska była odpowiedzialna za datowania radiowęglowe, a ja – za pomiary stosunków stabilnych izotopów węgla i azotu. W ramach prowadzonych prac udało nam się także wyznaczyć i porównać stosunki C/N zmierzone przy użyciu dwóch różnych analizatorów elementarnych. Efektem współpracy jest publikacja złożona do czasopisma *Radiocarbon* w 2018 roku: *Radiocarbon AMS dating of Mesolithic human remains from Poland*. W lutym 2019 roku artykuł został przyjęty do druku w czasopiśmie *Radiocarbon*.

PODSUMOWANIE DOROBKU PO UZYSKANIU, STOPNIA DOKTORA W 2002 ROKU, KTÓREGO SZCZEGÓŁY ZAWIERA ZAŁĄCZNIK NR 4.

PODSUMOWANIE NAJWAŻNIEJSZYCH OSIĄGNIĘĆ DOROBKU NAUKOWEGO PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA:

- Jestem współautorką lub autorką 18 artykułów naukowych, w tym 12 opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports (z czego 11 publikacji znajdowało się w chwili wydania na liście A MNiSW, 1 na liście B) oraz 2 publikacji z list MNiSW – po jednej z listy B i C (zał. 4, pkt I.B, II.A oraz II.D).
- Sumaryczny *Impact Factor* wszystkich moich artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora wynosi 35,168 (zał. 4, pkt II.F).
- Liczba cytowań dla artykułów wydanych po uzyskaniu stopnia doktora według bazy *Web of Science* wynosi 358, według *Scopus* 376, a według *Google Scholar* 457 – stan na dzień 08.02.2019 (zał. 4, pkt II.G); artykuł w *Nature Climate Change* ma na stronie *Web of Science* status *Highly Cited Paper*.
- Index Hirscha według *Web of Science* wynosi 9, a według *Scopus* i *Google Scholar* 10 – stan na dzień 08.02.2019 (zał. 4, pkt II.H).
- Brałam udział w charakterze wykonawcy w jednym międzynarodowym projekcie badawczym finansowanym ze środków UE (ISONET, zał. 4 pkt II I 1), oraz 2 projektach międzynarodowych, również finansowanych ze środków UE o innej formule (zał. 4 pkt III A.1-2).
- Brałam udział w charakterze eksperta w jednym projekcie badawczym finansowanym przez *Austrian Science Fund* (zał. 4, pkt II.I.4).
- Kierowałam jednym projektem krajowym finansowanym przez MNiSW, a później NCN, uczestniczyłam lub uczestniczę jako wykonawca w 4 innych projektach krajowych finansowanych przez NCN (zał. 4, pkt II.I.2-3, 5-7) oraz uczestniczyłam w 3 projektach SPUB związanych z projektami ISONET, GADAM oraz ATIS (zał. 4, pkt II.A.1-3).
- Wygłosiłam 21 referatów naukowych na międzynarodowych konferencjach (11) i spotkaniach (3), 2 na konferencjach krajowych oraz 5 na naukowych krajowych spotkaniach, warsztatach i seminariach (zał. 4, pkt II.K).
- Byłam autorką lub współautorką 69 prezentacji konferencyjnych na konferencjach międzynarodowych (57) i krajowych (12), w tym osobiście uczestniczyłam w 28 konferencjach – 21 międzynarodowych i 7 krajowych (zał. 4, pkt III.B).
- Byłam wykonawcą prac BW (Badania Własne): *Zapis izotopowy ewolucji środowiska w okresie ostatnich 400 000 lat oraz środowiska współczesnego naturalnego i przekształconego antropogenicznie* (zał. 4, pkt II.I.8) oraz prac BK (Badania Kierunkowe): *Metody fizyczne w naukach przyrodniczych, technice, technologii i ochronie środowiska* oraz *Metody izotopowe i jądrowe w geologii, geofizyce, górnictwie i ochronie środowiska* prowadzonych przez Zakład Zastosowań Radioizotopów, Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne, Politechnika Śląska w Gliwicach (zał. 4, pkt II.I.9).
- Recenzowałam 7 publikacji w czasopiśmie z listy JRC oraz jedną w krajowym czasopiśmie z listy B MNiSW (zał. 4 pkt III.P).

- Byłam i jestem opiekunem naukowym stażu doktoranta Instytutu Biologii Ssaków PAN w Białowieży od 2015 roku (zał. 4 pkt III.K).
- Doświadczenie naukowe poszerzałam w trakcie realizacji projektów międzynarodowych ISONET, GADAM oraz ATIS oraz krajowych, które miały charakter interdyscyplinarny i były realizowane w ścisłej współpracy z przyrodnikami (zał. 4 pkt I.I oraz III.A).
- Prowadziłam owocną międzynarodową, jak i krajową współpracę opartą w dużej mierze o badania i opracowania interdyscyplinarne (zał. 4 pkt III.Q.1-2)
- Czterokrotnie otrzymałam zespołową nagrodę Rektora Politechniki Śląskiej za osiągnięcia naukowe (zał. 4, pkt II.J).

Tabelaryczne podsumowanie dorobku przed i po doktoracie

Osiągnięcie	Przed doktoratem	Po doktoracie		Łącznie
		Praca habilitacyjna	Pozostałe	
Publikacje:	4	9	9	22
w tym				
w czasopismach JRC	1	7	5	13
Z listy B MNiSW		1		1
Z listy C MNiSW		1		1
Pozostałe	3	0	4	7
Cytowania prac*:				
Web of Science	16	294	64	374
Scopus	18	307	71	396
Google Scholar	27	375	82	484
Impact factor	0,935	25,227¹⁾	9,478	35,962¹⁾
Suma punktów MNiSW i KBN	33	245²⁾	177²⁾	455
Prezentacje konferencyjne:	6	69		75
w tym				
1. międzynarodowe	6	57		63
2. krajowe	0	12		12
Wygłoszone referaty na konferencjach, warsztatach, seminariach, spotkaniach	1	21		22
1. międzynarodowych	1	14		15
2. krajowych	0	7		7
Projekty	1	12		13
w tym				
1. międzynarodowe				
a). naukowe	0	2		2
b). inne	0	2		2
2. krajowe				
a). naukowe				
a1). kierowanie	0	1		1
a2). udział	1	4		5
b). inne				
b1). kierowanie	0	0		0
b2). udział	0	3		3
Recezyje	0	8		8
w tym				

W czasopiśmie JRC	0	7	7
Pozostałe czasopisma – lista MNiSW	0	1	1

*- cytowania dotyczą artykułu przed lub po doktoracie, a nie okresu przed i po doktoracie

¹⁾- dla Kłusek i in, 2019 IF z 2017

²⁾- punkty dla list: KBN (199-2013) oraz MNiSW (ujednolicone dla lat 2007-2010, 2010-2013 oraz 2013-2016) również dla Kłusek i in, 2019

PODSUMOWANIE DOROBKU DYDAKTYCZNEGO I POPULARYZATORSKIEGO PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA:

PRACY DYDAKTYCZNA NA UCZELNI:

- Prowadziłam ćwiczenia laboratoryjne i tablicowe z podstaw fizyki dla studentów różnych wydziałów Politechniki Śląskiej oraz seminarium z Geochemii Izotopów dla studentów specjalności fizyka środowiska (zał. 4, pkt III.I.1).
- Stosowałam nowoczesne narzędzia systemu e-learningowego w toku edukacji studentów, takie jak np. Platforma Zdalnej Edukacji Politechniki Śląskiej oraz uczestniczyłam w cyklu seminariów poszerzających wiedzę z zakresu dydaktyki organizowanych przez Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne (zał. 4, pkt III.I.2).
- Recenzowałam 1 pracę magisterską i 2 inżynierskie na kierunku Fizyka Techniczna oraz 2 prace końcowe zaocznych studiów podyplomowych w zakresie: "*Methods of Absolute Dating and Applications*" (zał. 4, pkt III.Q).

UPOWSZECHNIANIE WIEDZY NA FORUM MŁODZIEŻY SZKOLNEJ:

- Uczestniczyłam w organizowaniu ogólnopolskiego konkursu „Fizyka a ekologia” (zał. 4, pkt III.I.3).
- Wygłosiłam wykłady w Pałacu Młodzieży w Katowicach zatytułowane: „Zapis zmian środowiska w rocznych przyrostach drzew” „Przyrosty roczne drzew jako archiwum zmian środowiska naturalnego i przekształconego przez człowieka” oraz „Izotopy stabilne w materii organicznej jako archiwa zmian klimatu i środowiska” (zał. 4, pkt III.I.4).
- Uczestniczyłam w charakterze jurora w XVIII Ogólnopolskiej Konferencji Młodych Naukowców prowadzonej w języku angielskim (zał. 4, pkt III.I.6).
- Pomagałam w przygotowaniu reprezentantki Polski na Międzynarodową Konferencję Młodych Naukowców ICYS w Stuttgarcie w 2017 roku – pani Julia Rothkegel zdobyła brązowy medal (zał. 4, pkt III.I.7).
- Współorganizowałam oraz byłam wykładownicą szkoły letniej „Fizyka stosowana w: archeologii, geologii, inżynierii materiałowej, inżynierii środowiska” dla uczniów szkół średnich (zał. 4, pkt III.I.8).

UPOWSZECHNIANIE WIEDZY NA FORUM ARCHEOLOGÓW, GEOLOGÓW I PRZYRODNIKÓW:

- Uczestniczyłam w przygotowaniu III Warsztatów Metod Datowania Bezwzględne im. Prof. M.F. Pazdura (zał. 4, pkt III.C.5).

- Byłam wykładowcą w czasie II i IV Warsztatów Metod datowania Bezwzględne im. Prof. M.F. Pazdura (zał. 4, pkt III.I.5).

PODSUMOWANIE DOROBKU ORGANIZACYJNEGO PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA:

- Uczestniczyłam w organizowaniu cyklicznej konferencji międzynarodowej „*Methods of Absolute Chronology*” organizowanej co 3 lata przez pracowników Zakładu Zastosowań Radioizotopów Instytutu Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktycznego (dawniej Instytutu Fizyki) Politechniki Śląskiej. W 2007 byłam bezpośrednio członkiem komitetu organizacyjnego (zał. 4, pkt III.C.1).
- Byłam członkiem komitetu organizacyjnego ISONET Meeting Cracow w 2006 roku (zał. 4, pkt III.C.2).
- Byłam współorganizatorem warsztatów: “*Isotopes in karst sediments and environmental studies*”, Gliwice (2007) oraz “*Trees and forests as archives of last millennium climate*”, Gliwice – Niepołomice (2008) w ramach projektu ATIS (zał. 4, pkt III.C.3-4).
- Uczestniczyłam w organizacji III Warsztatów Metod Datowania Bezwzględne im. Prof. M.F. Pazdura w 2017 roku (zał. 4, pkt III.C.5).
- Byłam głównym organizatorem Sesji Jubileuszowej z okazji 50-lecia Laboratorium Radiowęglowego w Gliwicach w 2017 roku (zał. 4, pkt III.C.6).
- Pełnię funkcję sekretarza *3rd Radiocarbon in the Environment Conference*, która ma się odbyć w roku 2020 w Gliwicach (zał. 4, pkt III.C.7).
- Pełniłam funkcję Sekretarza Komisji do Przyjmowania i Przeprowadzania Przewodów Doktorskich w dyscyplinie naukowej „Fizyka” Wydziału Matematyczno-Fizycznego w latach 2007 – 2008 (zał. 4, pkt IV.A.1).
- Jestem członkiem Rady Centrum Instytutu Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktycznego na kadencję 2016-2020 (zał. 4, pkt IV.A.2).
- Byłam członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w roku akademickim 2017/2018 oraz pełniłam oraz pełnię funkcję sekretarza Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w roku akademickim 2017/2018 oraz 2018/2019 (zał. 4, pkt IV.A.3-4).
- Jestem koordynatorem ds. rekrutacji cudzoziemców na kierunku Fizyka Techniczna w roku akademickim 2018/2019 (zał. 4, pkt IV.B.1).
- Pełnię funkcję pełnomocnika Dyrektora Instytutu Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktycznego ds. Bezpieczeństwa i Higieny Pracy od roku 2012 roku (zał. 4, pkt IV.B.2).
- Jestem pełnomocnikiem Dyrektora Instytutu Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktycznego ds. gospodarki substancjami, mieszaninami i odpadami niebezpiecznymi od roku 2012 (zał. 4, pkt IV.B.3).

BIBLIOGRAFIA

WYKAZ PRAC OPUBLIKOWANYCH PRZED DOKTORATEM:

- Pawełczyk S., Pazdur A. 2000. $\delta^{13}\text{C}$ in tree rings α -cellulose. A methodology of measurements and interpretation: state of the art. *Geochronometria* 18: 15–18.
- Pazdur A., Matyja S. (obecnie Pawełczyk), Rakowski A.Z. 1998. Radiocarbon concentration measurements in contemporary tree-rings from Upper Silesia, RMZ - Materials and Geoenvironment 45 (1-2): 255-257.

Rakowski A. Z., Pawełczyk S., Pazdur A. 2001. Changes of 14C Concentration in Modern Trees from Upper Silesia Region, Poland. *Radiocarbon* 43 (2):633 – 643.

Rakowski A.Z., Pawełczyk S., Pazdur A. 2000. Radiocarbon concentration measurements in contemporary tree rings from Upper Silesia. *Geochronometria*.18: 19–21.

WYKAZ PRAC OPUBLIKOWANYCH PO DOKTORACIE ZAWIERAJĄCYCH CZĘŚCIOWO WYNIKI Z PRACY DOKTORSKIEJ:

Pawełczyk S., Pazdur A. 2004. Carbon isotopic composition of tree rings as tool for biomonitoring CO₂ level. *Radiocarbon* 46(2), 701-719.

Pawełczyk S., Pazdur A., 2003. Izotopy węgla w rocznych przyrostach drzew jako wskaźniki antropogenicznej emisji CO₂ do atmosfery. W: Waga J.M., Kocel K. (red.) Człowiek w środowisku przyrodniczym – Zapis działalności, Sosnowiec 2003: 165-169.

Pawełczyk S., Pazdur A., Hałas S. 2004. Stable carbon isotopic composition of tree rings from a pine tree from Augustów Wilderness, Poland, as a temperature and local environment conditions indicator. *Isotopes Environmental and Health Studies* 40(2), 145-154.

Pawełczyk S., Pazdur A., Krąpiec M. 2006. Zapis zmian klimatycznych i działalności człowieka w składzie izotopowym i sekwencjach przyrostów rocznych drzew w rejonie Suwałk i Augustowa. *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU, tom IV*: 71-77.

Pawełczyk S., Pazdur A., Krąpiec M. 2007. Badania antropogenicznej emisji CO₂ i zmian klimatu na obszarze północno-wschodniej Polski w oparciu o izotopy stabilne w przyrostach rocznych sosny. W: Smolska E., Szwarzewski P. (red.) Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym IV: 111-114.

WYKAZ PRAC OPUBLIKOWANYCH PO DOKTORACIE WCHODZĄCYCH W SKŁAD CYKLU:

Frank D.C., Poulter B., Saurer M., Esper J., C. Huntingford C., Helle G., Treydte K.S., Zimmermann N.E., Schleser G.H., Ahlstrom A., Ciais P., Friedlingstein P., Levis S., Lomas M., Sitch S., Viovy N., Andreu-Hayles L., Bednarz Z., Berninger F., T. Boettger T., D'Alessandro C.M., Daux V., Filot M., M. Grabner M., Gutierrez E., Haupt M., Hiltunen E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krąpiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Marah H., Masson-Delmotte V., Pazdur A., Pawełczyk S., Pierre M., O. Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., K.T. Rinne K.T., Saracino A., Sonninen E., Stievenard M., V.R. Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krąpiec E., L. Todaro L., J.S. Waterhouse J.S., Weigl M. 2015. Water use efficiency and transpiration across European forests during the anthropocene. *Nature Climate Change*. 2015 vol. 5 iss. 6, s. 579-583.

Kłusek M., Pawełczyk S., 2014. Stable carbon isotope analysis of subfossil wood from Austrian Alps. *Geochronometria* Vol. 41 (4): 400-408.

Kłusek M., Grabner M., Pawełczyk S., Pawlyta J. 2019. An 1800-year stable carbon isotope chronology based on sub-fossil wood from Lake Schwarzensee, Austria. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 514: 65–76; doi:10.1016/j.palaeo.2018.10.003.

Pawełczyk S., 2011 (2013). Isotopic measurements in tree rings for climate change investigation. *Archaeologia Polona*, vol. 49: 203-213.

Pawełczyk S., Anna Pazdur, Sensuła B., Kaczka R., 2012. Drzewa jako archiwum izotopowe klimatu i wpływu człowieka na środowisko. *STUDIA I MATERIAŁY CENTRUM EDUKACJI PRZYRODNICZO-LEŚNEJ*. Tom: R. 14, zeszyt. 1 (30), s. 205-211.

Pazdur A., Kuc T., Pawełczyk S., Piotrowska N., Sensuła B., Różański K. 2013. Carbon Isotope Composition of Atmospheric Carbon Dioxide in Southern Poland: Imprint of Anthropogenic CO₂ Emissions in Regional Biosphere. *Radiocarbon*, vol.55, iss 2/3: 848–864.

Pazdur A., Nakamura T., Pawełczyk S., Pawlyta J., Piotrowska N., Rakowski A., Sensuła B., Szczepanek M. 2007. Carbon isotopes in tree rings: climate and the Suess effect interferences in the last 400 years. *Radiocarbon* 49(2):775-788.

Szczepanek M., Pazdur A., Pawełczyk S., Böttger T., Haupt M., Hałas S., Bednarz Z., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E. 2006. Hydrogen, carbon and oxygen isotopes in pine and oak tree rings from Southern Poland as climatic indicators in years 1900 – 2003. *Geochronometria* 25: 67–76.

Treydte K. S., Frank D., Esper J., Andreu L., Bednarz Z., Berninger F., Boettger T., D'Alessandro C.M., Etien N., Filot M., Grabner M., Guillemain M.T., Gutierrez E., Haupt M., Helle G., Hiltunen E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krąpiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Masson-Delmotte V., Pazdur A., Pawełczyk S., Pierre M., Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., Rinne K.T., Saracino A., Saurer M., Sonninen E., Stievenard M.,

Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krapiec E., Todaro L., Waterhouse J.S., Weigl M., Schleser G.H. 2007. Signal strength and climate calibration of a European tree ring isotope network, *Geophysical Research Letters*, 34, L24302, doi:10.1029/2007GL031106.

WYKAZ POZOSTAŁYCH PRAC OPUBLIKOWANYCH PO DOKTORACIE:

- Kaczka R., Pawełczyk S. 2010. Zapis w przyrostach drzew zmian środowiska górskiego Tatr na tle obszarów górskich Europy Centralnej, W: Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek. Materiały IV konferencji, Zakopane, 14-16 października 2010. T. 2, Nauki biologiczne. Red. Zbigniew Mirek. Tatrzański Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi - Oddział Krakowski. Zakopane : Wydaw. Tatrzańskiego Parku Narodowego, strony 59-64.
- Piotrowska N., Tomczyk J., Pawełczyk S., Stanaszek Ł.M. Radiocarbon AMS dating of Mesolithic human remains from Poland. Praca zaakceptowana w lutym 2019 do druku w czasopiśmie *Radiocarbon*.
- Rakowski A.Z., Nadeau M.-J., Nakamura T., Pazdur A., Pawełczyk S., Piotrowska N. 2013. Radiocarbon method in environmental monitoring of CO₂ emission, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 294: 503–507.
- Sensuła B., Opała M., Wilczyński S., Pawełczyk S. 2015. Long- and short-term incremental response of *Pinus sylvestris* L. from industrial area nearby steelworks in Silesian Upland, Poland. *Dendrochronologia* 36: 1-12.
- Voelker S.L., Brooks J.R., Meinzer F.C., Roden J.S., Pazdur A., Pawełczyk S., Hartsough P., Snyder K., Plavcová L., Šantrůček J. 2014. Reconstructing relative humidity from plant $\delta^{18}\text{O}$ and δD as deuterium deviations from the global meteoric water line. *Ecological Applications* 24 (5): 960-975.

WYKAZ WSZYSTKICH CYTOWANYCH PRAC:

- Alexander W.J., Mittchel R.L. 1949. Rapid Measurements of Cellulose Viscosity by the Nitration Method, *Analytical Chemistry* 21 (12): 1497 – 1500.
- Anderson W.T., Bernasconi S.M., McKenzie J.A., Saurer M., Schweingruber F. 2002. Model evaluation for reconstructing the oxygen isotopic composition in precipitation from tree ring cellulose over the last century. *Chemical Geology* 182 (2-4): 121-137.
- Awsiuk R., Pazdur M.F. 1986. Regional Suess effect in the Upper Silesia urban area. *Radiocarbon* 28 (2A): 655-660.
- Aucour A.M., Jillaire-Marcel C., Bonnefille R. 1996. Oxygen isotopes in cellulose from modern and quaternary intertropical peatbags: implications for paleohydrology. *Chemical Geology* 129: 341-359.
- Battipaglia G., Marzaioli F., Lubritto C., Altieri S., Strumia S., Cherubini P., Cotrufo M. F. 2010. Traffic pollution affects tree-ring width and isotopic composition of *Pinus pinea*. *Science of the total Environment* 408: 586-593.
- Biondi, F., Waikul K. 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences* 30 (3): 303–311.
- Boden TA, Marland G, Andres RJ. 2011. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, USA. doi:10.3334/CDIAC/00001_V2011.
- Boettger, T., Haupt, M., Knöller, K., Weise, S.M., Waterhouse, J.S., Rinne, K.T., Loader, N.J., Sonninen, E., Jungner, H., Masson-Delmotte, V., Stievenard, M., Guillemine, M.T., Pierre, M., Pazdur, A., Leuenberger, M., Filot, M., Saurer, M., Reynolds, C.E., Helle, G., Schleser, G.H. 2007. Wood cellulose preparation methods and mass spectrometric analyses of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and non-exchangeable $\delta^2\text{H}$ values on cellulose, sugar and starch: an inter-laboratory comparison. *Anal.Chem.* 79: 4603-4612.
- Bond A.L., Hobson K.A. 2012. Reporting Stable-isotope Ratios in Ecology: Recommended Terminology, Guidelines and Best Practices. *Waterbirds* 35(2):324-331.
- Choi W.-J., Lee K.-M. 2012. A short overview on linking annual tree ring carbon isotopes to historical changes in atmospheric environment. *Forest Science and Technology*. 8(2): 61-66.
- Craig H. 1954. Carbon-13 in plants and the relationship between carbon-13 and carbon-14 variations in nature. *Journal of Geology* 62: 115-149.
- Dansgaard S.W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus B* 16: 436-468.
- Dai, A., Trenberth K.E., Qian T. 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870– 2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorol.* 5: 1117– 1130.

- Deines P., Fritz P., Fontes J. Ch. (red.) 1980, The Isotopic composition Of Reduced Organic Carbon. W: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Vol. 1. The Terrestrial Environment. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.
- DeNiro M.J., Epstein S. 1979. Relationship Between the Oxygen Isotope Ratios of Terrestrial Plant Cellulose, Carbon Dioxide, and Water. *Science* 204 (4388): 51-53.
- Djuricin S., Pataki D.E., Xu X. 2010. A comparison of tracer methods for quantifying CO₂ sources in an urban region. *Journal of Geophysical Research* 15: D11303.
- Dongmann, G., Nurnberg, H.W., Forstel, H., Wagener, K. 1974. On the enrichment of H₂¹⁸O in leaves of transpiring plants. *Radiation, Environment and Biophysiology* 11: 41–52.
- Ehleringer J.R., Vogel J.C. 1993. Historical aspects of stable isotopes in plant carbon and water relations. W: *Stable Isotopes and Plant Carbon–Water Relations*. J.R. Ehleringer, A.E. Hall and G.D. Farquhar (eds.). Academic Press, London, strony 9–18.
- Epstein S., Thomson P., Yapp C.J. 1977. Oxygen and hydrogen isotopic ratios in plant cellulose. *Science* 198: 1209-1215.
- Farquhar G.D., O’Leary M.H., Berry J.A. 1982. On the Relationship Between Carbon Isotope Discrimination and the Intercellular Carbon Dioxide Concentration in Leaves. *Journal of Plant Physiology* 9: 121–137.
- Feng X., Krishnamurthy R., Epstein S. 1993. Determination of D/H ratios of nonexchangeable hydrogen in cellulose: A method based on the cellulose-water exchange reaction, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 4249 – 4256.
- Ferrio J. P., Resco V., Williams D. G., Serrano L., Voltas J. 2005. Stable isotopes in arid and semiarid forest ecosystems. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14: 371-382.
- Filot M., Leuenberger M., Pazdur A., Boettger T. 2006. Rapid online equilibration method to determination the D/H ratios of nonexchangeable hydrogen in cellulose, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20 (22): 3337 – 3344.
- Francey R.J., Farquhar G.D. 1982. An explanation of ¹³C/¹²C variations in tree-rings. *Nature* 297:28-31.
- Freyer H.D. 1979. On the ¹³C record in tree ring. Part II. Registration of microenvironmental CO₂ and anomalous pollution effect. *Tellus* 31: 308-312.
- Gray J., Song S.J. 1984 Climatic implications of the natural variations of D/H ratios in tree ring cellulose. *Earth and Planetary Sciences Letters* 70: 129-138.
- Green J.W. 1963. Wood cellulose. W: *Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL (eds.). Academic Press: New York, Vol. III, strony 9 - 21.
- Hałas S. 1979. An automatic inlet system with pneumatic changeover valves for isotope ratio mass spectrometer. *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 12: 418-420.
- Huang R., Zhu H., Liu X., Liang E., Griebinger J., Wu G., Li X., Bräuning A. 2017. Does increasing intrinsic water use efficiency (iWUE) stimulate tree growth at natural alpine timberline on the southwestern Tibetan Plateau? *Global and Planetary Change* 148: 217–226.
- Keeling C.D. 1979. The Suess Effect ¹³Carbon – ¹⁴Carbon Interrelations. *Environment International* 2: 229-300.
- Knöller K., Boettger T., Weise S.M., Gehre, M. 2005. Carbon isotope analyses of cellulose using two different on-line techniques (elemental analysis and high-temperature pyrolysis) - a comparison. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 19 (3): 343-348.
- Knöller, K., Boettger, T., Haupt, M., Weise, S. 2007. Routine hydrogen isotope measurement of cellulose nitrate by high temperature pyrolysis - reference materials and precision. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 21: 3085-3092.
- Leavitt S. W. 1993 Environmental Information from ¹³C/¹²C Ratios of Wood, *Climate Change in Continental Isotopic Records*. *Geophysical Monograph* 78: 325-331.
- Leavitt, S.W., Long, A. 1984. Sampling strategy for stable carbon isotope analysis of tree rings in pine. *Nature* 311: 145–147.
- Loader N.J., Robertson I., Barker A.C., Switsur V. R. and Waterhouse J.S. 1997. A modified method for the batch processing of small whole wood samples to α-cellulose. *Chem. Geol.* 136: 313–317.
- McCarroll D., Loader N.J. 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews* 23: 771-801.
- McCarroll D., Pawellek F. 1998. Stable carbon isotope ratios of latewood cellulose in *Pinus sylvestris* from northern Finland: variability and signal strength. *The Holocene* 8: 693–702.
- Mitchell T.D., Jones P.D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Clim.*: 693– 712.

- Nakamura, T, Niu, E, Oda, H, Ikeda, A, Minami, M, Takahashi, H, Adachi, M, Pals, L, Gott dang, A, Suyu, N. 2000. The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 172(1–4): 52–57.
- Nier A.O., Gulbransen E.A. 1939. Variation in Relative Abundance of Carbon Isotopes. *J. Am. Soc.* 61: 697 – 698.
- Park R., Epstein S. 1960. Carbon isotope fractionation during photosynthesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 21: 110 – 126.
- Pawlyta J., Pazdur A., Rakowski A.Z. 1998. Commissioning of a Quantulus 1220™ Liquid Scintillation Beta Spectrometer for Measuring ¹⁴C and ³H at Natural Abundance Levels. *Radiocarbon* 40(1): 201–209.
- Penar J. 1998. Analiza izotopowa tlenu I siarki w siarczanach. Praca magisterska wykonana w Pracowni Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki UMCS.
- Piotrowska N. 2013. Status report of AMS sample preparation laboratory at GADAM Centre, Gliwice, Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 294: 176–81.
- Polański A. 1979. Izotopy w geologii. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa. Stron 337.
- Rakowski AZ. 2011. Radiocarbon method in monitoring of fossil fuel emission. *Geochronometria*38(4):314–324.
- Robertson I., Switsur V.R., Carter, A.H.C., Barker A.C., Waterhouse J.S., Briff, K.R., Jones P.D. 1997a. Signal strength and climate relationships in ¹³C/¹²C ratios of tree ring cellulose from oak in east England. *Journal of Geophysical Research* 102: 19507–19519.
- Rinne K.T., BoettgerT., Loader N.J., Robertson I., Switsur V.R., Waterhouse J.S. 2005. On the purification of α-cellulose from resinous wood for stable isotope (H, C and O) analysis. *Chemical Geology* 222: 75–82.
- Roden J. S, Lin G., Ehleringer J. R. 2000. A mechanistic model for interpretation of hydrogen and oxygen isotope ratios in tree-ring cellulose. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64: 21-35.
- Różanski K., Arguas-Arguas L., Gonfiantini R. 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. W: *Climate Change in Continental Isotopic Records*, Geophys. Monogr. Ser., vol. 78, edited by P. K. Swart et al., AGU, Washington, strony 1 – 36.
- Różanski K., Johnsen S.J., Schotterer U., Thompson L. G. 1997. Reconstruction of past climates from stable isotope records of palaeo-precipitation preserved in continental archives. *Hydrol. Sci. J.* 42(5): 725-745.
- Saurer M., Siegwiegwolf R.T.W. (eds) *Stable isotopes as indicators of ecological change*. Elsevier, New York, strony 49-62.
- Schidlowski M. 1995. Isotope Fractionation in the Terrestrial Carbon Cycle: A Brief Overview. *Adv. Space. Res.* 15: 441-449.
- Silva L.C.R., Horwath W.R. 2013. Explaining Global Increases in Water Use Efficiency: Why Have We Overestimated Responses to Rising Atmospheric CO₂ in Natural Forest Ecosystems? *PLoS ONE* 8(1): e53089.
- Stuiver M., Polach H. 1977. Discussion: Reporting of ¹⁴C Data. *Radiocarbon* 19: 355-363.
- Switsur R., Waterhouse J. (ed.). 1998. *Stable isotopes in tree ring cellulose*, W: *Stable isotopes, integration of biological, ecological and geochemical process*. Environmental Plant Biology, BIOS Scientific Publishers.
- Treydte, K., Schleser, G.H., Schweingruber, F.H., Winiger, M. 2001. The climatic significance of δ¹³C in subalpine spruces (L. otschental, Swiss Alps). *Tellus* 53B: 593–611.
- Urey H. C. 1947. Thermodynamics Properties of Isotopic Substances.. *J. Chem. Soc.:* 552-581.
- van der Schrier G., Briffa K.R., Jones P.D., Osborn T.J. 2006. Summer moisture variability across Europe, *J. Clim.* 19: 2818– 2834.
- Warwick P.D., Ruppert L.F. 2016. Carbon and oxygen isotopic composition of coal and carbon dioxide derived from laboratory coal combustion: A preliminary study, *International Journal of Coal Geology* 166: 128-135.
- Wells N., Goddard S., Hayes M.J. 2004. A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *J. Clim.*, 17: 2335– 2351.
- Wickman F. 1956. Variations in the relative abundance of carbon isotope in plants. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2: 243 – 254.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201–13.

