

załącznik 3
do wniosku o przeprowadzenie
postępowania habilitacyjnego

AUTOREFERAT

dr Eugeniusz Pronin

Pracowania Ekologii Wód Słodkich

Katedra Ekologii Roślin

Wydział Biologii

Uniwersytet Gdański

Gdańsk, 2026

Załącznik 3

1. Imię i Nazwisko

Eugeniusz Pronin

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Tytuł zawodowy licencjata ochrony środowiska: Collegium Polonicum w Słubicach; Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, tytuł pracy licencjackiej: Fitoplankton późną wiosną 2006 i 2007 roku w Jeziorze Czyste Małe.

Tytuł zawodowy magistra ochrony środowiska, specjalność: ochrona i kształtowanie środowisk lądowych: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii 2010 r., tytuł pracy magisterskiej: Zmienność roślinności wodnej i szuwarowej kąpieliskowego Jeziora Długie na tle stanu jego trofii.

Tytuł zawodowy magistra ochrony środowiska, specjalność: chemia środowiska: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii 2011 r., tytuł pracy magisterskiej: Warunki tlenowe w Jeziorze Góreckim w Wielkopolskim Parku Narodowym.

Stopień doktora nauk biologicznych w zakresie ekologii, specjalność: hydrobiologia – Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2016 r., Tytuł rozprawy doktorskiej: Skład stabilnych izotopów $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w inkrustacjach węglanowych ramienic (*Characeae*) jako wskaźnik warunków środowiska jeziornego, promotor: Prof. dr hab. Mariusz Pełechaty; promotor pomocniczy: Prof. dr hab. Karina Apolinarska.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

01.10.2011 – 31.12.2015 Stacjonarne studia doktoranckie w ramach Środowiskowych Studiów Doktoranckich w Zakresie Nauk o Środowisku Przyrodniczym

01.07.2017 – 28.11.2019 – adiunkt naukowy, Zakład Ekologii Roślin, Instytut Botaniki, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

01.12.2019 – 30.11.2022 – adiunkt naukowy, Katedra Ekologii Roślin, Wydział Biologii, Uniwersytet Gdański

01.12.2022 – obecnie – adiunkt badawczo-dydaktyczny, Pracownia Ekologii Wód Słodkich, Katedra Ekologii Roślin, Wydział Biologii, Uniwersytet Gdański

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

4.1 Tytuł osiągnięć naukowych

Osiągnięcie naukowe I: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów w różnych ekosystemach wodnych

Osiągnięcie naukowe II: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej roślinności i osadów jezior lobeliowych

4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięć naukowych:

Osiągnięcia przedstawione do oceny stanowią cykl ośmiu powiązanych tematycznie publikacji, które zostały przygotowane i opublikowane po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Siedem spośród ośmiu artykułów opublikowano w czasopismach indeksowanych w Journal Citation Reports (Web of Science), sklasyfikowanych w kwartylach Q1–Q2 (czasopisma te są jednocześnie indeksowane w bazie Scopus). Jeden artykuł opublikowano w czasopiśmie indeksowanym wyłącznie w bazie Scopus (kwartył Q3), nieujęty w JCR. Jestem pierwszym autorem w przypadku sześciu prac, jedynym autorem w przypadku jednej pracy oraz ostatnim i wiodącym autorem jednej pracy; ponadto autorem korespondencyjnym wszystkich prac. Sumaryczny Impact Factor publikacji tworzących osiągnięcie z roku opublikowania wynosi 22,129 (26,6 IF 5 letni). Ogólna liczba ich cytowani to 38 (Web of Science) i 43 (Scopus), natomiast bez autocytowań wynosi odpowiednio 17 (Web of Science) i 21 (Scopus).

Osiągnięcie naukowe I: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów w różnych ekosystemach wodnych

1. **Pronin, E.**, Panettieri, M., Torn, K., Rumpel, C., 2019. Stable carbon isotopic composition of dissolved inorganic carbon (DIC) as a driving factor of aquatic plants organic matter build-up related to salinity. *Ecol. Indic.* 99, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.036>

IF₂₀₁₉: **4,229**, kwartyl (JIF): **Q1**; punktacja MNIŚW: **140**; liczba cytowań: 19 (WoS); 19 (Scopus).

Mój wkład autorski w powstanie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy i koncepcji badań (uzyskania finansowania na realizację badań oraz stażu w laboratorium izotopowym Biogeochemistry Laboratory BIOEMCO, Grignon, Francja), organizację etapu terenowego pracy i wspólne pobranie materiału do badań z jedną z współauterek (dr Kaire Torn, Instytut Morski w Tallinnie w Estonii), obróbkę pobranego materiału w celu jego przygotowania do analiz izotopowych i ekstrakcji monofenoli ligniny i późniejszą analizę izotopową tlenu w wodzie oraz ekstrakcję monofenoli w trakcie stażu naukowego w Grignon we Francji przy udziale pracowników technicznych i merytorycznym nadzorze kierownika laboratorium izotopowego (dr Cornelia Rumpel), zlecenie badań izotopowych rozpuszczonego węgla nieorganicznego w wodzie (*eng.* DIC – dissolved inorganic carbon) w innym laboratorium izotopowym (Laboratorium Izotopów Stabilnych Instytutu Nauk Geologicznych PAN w Warszawie), napisanie pierwotnej wersji artykułu, przygotowanie większej części rycin i tabel, wykonanie większości analiz statystycznych, interpretację większości wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie struktury artykułu i końcowej wersji manuskryptu, korespondencję z czasopismem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 70%.

2. **Pronin, E.**, Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2023. Do stable carbon and nitrogen isotope values of *Nitella flexilis* differ between softwater and hardwater lakes? *Aquat. Sci.* 85, 79. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00976-6>

IF₂₀₂₃: **2,0**, kwartyl (JIF): **Q2**; punktacja MNIŚW: **100**; liczba cytowań: 6 (WoS); 6 (Scopus).

Mój wkład autorski w powstanie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy oraz badań, (uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN oraz

dodatkowych środków w ramach grantu wewnątrz uniwersyteckiego z działania IDUB (Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza), kierowanie wspomnianymi projektami badawczymi, planowanie i realizacje prac terenowych związanych z jeziorami miękkowodnymi oraz odpowiednie przygotowanie pozyskanego materiału do analiz izotopowych zarówno tego z jezior miękkowodnych (pracując z współautorami w terenie) jak i archiwalnych materiałów z jezior twardowodnych pobranych przez współautorów, finalne przygotowanie materiału do analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO (Geochemistry and ISotopic MethOds) w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonata 3, opracowanie wyników, napisanie pierwotnej wersji artykułu, przygotowanie rycin i tabel, wykonanie analiz statystycznych, interpretację wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 75%.

3. **Pronin, E.,** Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 100650. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100650>

IF₂₀₂₅: **2,2**, kwartył (JIF): **Q2**; punktacja MNiSW: **100**; liczba cytowań: 1 (WoS); 1 (Scopus).

Mój wkład autorski w powstanie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy i bada (uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN oraz dodatkowych środków w ramach grantu wewnątrz uniwersyteckiego z działania IDUB), kierowanie wspomnianymi projektami badawczymi, planowanie i odpowiednie przygotowanie pozyskanego materiału do analiz izotopowych z kolekcji archiwalnych materiałów z rzek północnej Polski przez współautorów, finalne przygotowanie materiału do analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonata 3, opracowanie wyników, napisanie pierwotnej wersji artykułu, przygotowanie większości rycin i tabel, wykonanie analiz statystycznych, interpretację wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 75%.

4. Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., **Pronin, E.**, 2025. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signatures in Three Pondweed Species—A Case Study of Rivers and Lakes in Northern Poland. *Plants* 14: 2261. <https://doi.org/10.3390/plants14152261>

IF₂₀₂₅: **4,1**, kwartyl (JIF): **Q1**; punktacja MNiSW: **70**; liczba cytowań:0 (WoS); 0 (Scopus).

Mój wkład autorski w powstanie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy i badań, (uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN oraz dodatkowych środków w ramach grantu wewnątrz uniwersyteckiego z działania IDUB), kierowanie wspomnianymi projektami badawczymi, planowanie i odpowiednie przygotowanie pozyskanego materiału do analiz izotopowych z kolekcji archiwalnych materiałów z jezior oraz rzek północnej Polski zgromadzonych przez współautorów, finalne przygotowanie materiału do analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonatina 3, pomoc w opracowaniu wyników, poprawki i sugestie do pierwotnej wersji artykułu, pomoc w przygotowaniu większości rycin i tabel, pomoc w wykonaniu analiz statystycznych, pomoc w interpretacji wyników, pomoc w dokonaniu przeglądu literatury, pomoc w przygotowaniu oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, korespondencję z redakcją, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 50%.

5. **Pronin, E.**, 2024. The Possible Use of Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signal and Spectral Analysis to Identify Habitat Condition of Aquatic Plants. *Limnol. Rev.* 24, 17–29. <https://doi.org/10.3390/limnolrev24010002>

IF₂₀₂₄: **0**, kwartyl (ASJC Scopus): **Q3**; punktacja MNiSW: **40** liczba cytowań: 5 (Scopus).

Osiągnięcie naukowe II: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej roślinności i osadów jezior lobeliowych

1. **Pronin, E.**, Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024. Characteristics of Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Different Ecological Plant Groups and Sediments Collected from 14 Softwater Lakes in Poland. *Water (Switzerland)* 16, 3403. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w16233403>

IF₂₀₂₄: **3,0**, kwartyl (JIF): **Q2**; punktacja MNiSW: **100**; liczba cytowań: 2 (WoS); 2 (Scopus).

Mój wkład autorski w powstanie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy i badań (uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN Sonatina 3), kierowanie wspomnianym projektem badawczym, planowanie i realizację prac terenowych związanych badaniem roślinności oraz osadów miękkowodnych jezior lobeliowych, opracowanie materiału pobranego podczas prac terenowych, przygotowanie roślinności, osadów i wody do analiz izotopowych, finalne przygotowanie materiału roślinnego i osadów do analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonatina 3, zlecenie dodatkowych badań izotopowych materiału allochtonicznego osadów w zewnętrznym laboratorium w Polsce (Laboratorium Biogeochemii i Ochrony Środowiska, Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego), opracowanie wyników, napisanie pierwotnej wersji artykułu, wykonanie analiz statystycznych, przygotowanie rycin i tabel, interpretację wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 70%.

2. Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024. Lobelia Lakes' Vegetation and Its Photosynthesis Pathways Concerning Water Parameters and the Stable Carbon Isotopic Composition of Plants' Organic Matter. Plants 13, 2529. <https://doi.org/10.3390/plants13172529>

IF₂₀₂₄: **4,0**, kwartyl (JIF): **Q1**; punktacja MNiSW: **70**; liczba cytowań: 6 (WoS); 6 (Scopus).

Mój wkład autorski w tworzenie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy i badań (uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN Sonatina 3), kierowanie wspomnianym projektem badawczym, planowanie i realizację prac terenowych związanych badaniem roślinności miękkowodnych jezior lobeliowych, opracowanie materiału pobranego podczas prac terenowych, przygotowanie roślinności i wody do analiz izotopowych, finalne przygotowanie materiału roślinnego do analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonatina 3, opracowanie

wyników, napisanie pierwotnej wersji artykułu, wykonanie analiz statystycznych, przygotowanie rycin i tabel, interpretację wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 70%.

3. Pronin, E., Merdalski, M., Ronowski, R., Banaś, K., 2025. Variation of carbon and nitrogen stable isotope composition in leaves and roots of *Littorella uniflora* (L.) Asch. in relation to water pH and nutrient availability. *Aquat. Bot.* 196, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2024.103832>

IF₂₀₂₅: **1,9**, kwartyl (JIF): **Q2**; punktacja MNiSW: **70**; liczba cytowań: 4 (WoS); 4 (Scopus).

Mój wkład autorski w tworzenie publikacji obejmował: opracowanie koncepcji pracy, uzyskania finansowania na realizację badań w ramach projektu z NCN Sonatina 3, kierowanie wspomnianym projektem badawczym, planowanie i realizację prac terenowych oraz eksperymentalnych związanych badaniem gatunku *Littorella uniflora* w różnych wariantach hodowli w komorze wzrostu roślin, prowadzenie eksperymentu, opracowanie pozyskanego w ramach eksperymentu materiału roślinnego oraz wody, przygotowanie roślinności i wody do analiz izotopowych, finalne przygotowanie materiału roślinnego analiz izotopowych w laboratorium izotopowym GISMO w jednostce Biogeoscience na Uniwersytecie w Burgundii – podczas stażu naukowego w ramach projektu NCN Sonatina 3, zlecenie analiz izotopowych azotu w azotanach w wodzie w zewnętrznym laboratorium, opracowanie wyników, napisanie pierwotnej wersji artykułu, wykonanie analiz statystycznych, przygotowanie rycin i tabel, interpretacji wyników, dokonanie przeglądu literatury, przygotowanie oryginalnego draftu artykułu oraz końcowej wersji manuskryptu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje. Mój wkład w powstanie artykułu szacuję na 80%.

Wymienione wyżej publikacje znajdują się w **Załączniku nr 5**. Oświadczenia współautorów prac tworzących osiągnięcie naukowe wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu pracy znajdują się w **Załączniku 6**.

4.3. Omówienie cyklu prac stanowiących osiągnięcia naukowe

Wstęp

Badania składu stabilnych izotopów całościowej materii organicznej współczesnej roślinności wodnej prowadzone są od kilkudziesięciu lat (O’Leary, 1988; Osmond i in., 1981; Richardson i in., 1984), jednakże nadal jest to tematyka wymagająca dalszych badań. Sytuacja ta wynika przede wszystkim z mnogości czynników wpływających na ostateczny sygnał izotopowy roślin związanych z środowiskiem wodnym a zwłaszcza tych całkowicie zanurzonych (Chappuis i in., 2017; Heredia i in., 2022; O’Leary, 1988; Osmond i in., 1981; Pronin i in., 2025b, 2025a, 2024b, 2024a, 2023, 2019; Richardson i in., 1984; Wrosz i in., 2025). W związku z tym rozwijając prowadzone przeze mnie badania naukowe skupiłem się na próbie wyjaśnienia głównego problemu badawczego związanego z prowadzonymi badaniami izotopowymi roślinności wodnej tzn. **W jaki sposób typ ekosystemu wodnego determinuje sygnał izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów?** Aby móc odpowiedzieć na tak postawione pytanie zdecydowałem się ukierunkowywać swoje kolejne badania naukowe na zbadaniu zmienności izotopowej makrofitów w zróżnicowanych środowiskach wodnych. Dlatego cykl publikacji związany z badaniem sygnału izotopowego materii organicznej makrofitów obejmuje badania prowadzone nie tylko w różnych ekosystemach wodnych ale również w zróżnicowanych gradientach środowiskowych. Zabieg ten miał na celu rozpoznanie, które z znacznej liczby czynników siedliskowych i środowiskowych, jak również mechanizmów związanych z fizjologią roślinności wodnej, w głównej mierze determinuje skład izotopowy węgla i azotu ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów. W swoich badaniach dotyczących **osiągnięcia naukowego I** (tj. **Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów w różnych ekosystemach wodnych, które składa się z 5 publikacji:** **1. Pronin, E.**, Panettieri, M., Torn, K., Rumpel, C., 2019. Stable carbon isotopic composition of dissolved inorganic carbon (DIC) as a driving factor of aquatic plants organic matter build-up related to salinity. *Ecol. Indic.* 99, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.036>; **2. Pronin, E.**, Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2023. Do stable carbon and nitrogen isotope values of *Nitella flexilis* differ between softwater and hardwater lakes? *Aquat. Sci.* 85, 79. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00976-6>; **3. Pronin, E.**, Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. *Ecohydrol. Hydrobiol.*

25, 4, 100650 <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100650>; **4.** Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., **Pronin, E.**, 2025. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signatures in Three Pondweed Species—A Case Study of Rivers and Lakes in Northern Poland. *Plants* 14: 2261. <https://doi.org/10.3390/plants14152261>; **5.** **Pronin, E.**, 2024. The Possible Use of Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signal and Spectral Analysis to Identify Habitat Condition of Aquatic Plants. *Limnol. Rev.* 24, 17–29. <https://doi.org/10.3390/limnolrev24010002>) prowadzonych wraz z partnerami z Europy i Polski skupiłem się na badaniach sygnatur izotopowych węgla oraz azotu ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$). Sygnatury izotopowe to formuła matematyczna stworzona w celu łatwiejszego posługiwania się wynikami analiz składu stabilnych izotopów wraz z odniesieniem ich wyników do standardów laboratoryjnych użytych w procesie analitycznym niezbędnym do ich ustalenia. Sygnaturę izotopową definiujemy wzorem: $\delta = \frac{R/R \text{ próbki} - R/R \text{ standardu}}{R/R \text{ standardu}} \times 1000$. Dzięki takiemu zabiegowi prezentacja wyników jest znacznie łatwiejsza w odbiorze, gdyż unikamy przedstawiania różnic w postaci wartości powyżej lub poniżej zera z kilkoma miejscami po przecinku. W przypadku węgla obliczenie sygnatury izotopowej ($\delta^{13}\text{C}$) w materii organicznej polega na zbadaniu stosunku izotopów stabilnych węgla tj. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ i odniesienie wyniku do uzyskanego dla standardu i wyrażenie sygnatury w promilach ‰. Stosunek izotopowy użytego standardu odnosi się do ogólnoswiatowego materiału referencyjnego ustalonego sztucznie w laboratorium. Materiał ten nawiązuje do pierwotnego standardu dla analiz izotopowych węgla oraz tlenu w węglanowym rostrum belemnita z formacji PeeBee, stąd ten laboratoryjnie ustalony standard utworzony w laboratorium w Wiedniu ma skrót V-PDB (Wiena-PeeDee Belemnite). Natomiast, w przypadku drugiego pierwiastka wchodzącego w skład materii organicznej, moje zainteresowanie wzbudziły analizy izotopowe azotu. W tym przypadku sprawa obliczania sygnatury ($\delta^{15}\text{N}$) jest łatwiejsza, gdyż standardy użyte w analizie odnoszą się do azotu atmosferycznego jako wskaźnika.

Poza samym dążeniem do zrozumienia mechanizmów kształtujących zależności izotopowe w zróżnicowanych ekosystemach wodnych i w odmiennych warunkach siedliskowych, celem moich badań było także pogłębienie świadomości, że ustalanie się sygnatur izotopowych, szczególnie izotopów węgla, szeroko stosowanych w badaniach paleośrodowiskowych i paleolimnologicznych, stanowi proces wieloczynnikowy, którego analiza powinna obejmować zmienne dotąd często marginalizowane lub pomijane (Pronin i in., 2024b). W części literatury używającej sygnatur izotopów węgla i azotu materii organicznej zdeponowanej w osadach jako jednego z narzędzi do interpretacji przemian roślinności (nie tylko wodnej) wysnuwa się daleko idące wnioski jedynie na podstawie trendu zaobserwowanych zmian w rdzeniu osadów. Pomija

się niekiedy próby dokładniejszego zidentyfikowania szeregu zmiennych tj. sprawdzenia pochodzenia materii organicznej tworzących dane osady, próby odtworzenia specyficznych warunków tworzenia się tych osadów, sytuacji zlewni bezpośredniej i jej przemian itp. i powiązania tych zależności ze zaobserwowanymi trendami zróżnicowania sygnatur izotopowych węgla i azotu w takim rdzeniu osadów, czy nawet w powierzchniowej warstwie osadów, gdzie zapisane są informacje z ostatnich dekad. Sytuacja ta może obniżać wiarygodność i rzetelność paleolimnologicznych prac wykorzystujących analizy materii organicznej pochodzącej z makrofitów a deponowanej w osadach, które coraz częściej są używane do rekonstrukcji paleoekologicznych w połączeniu z wieloaspektowymi analizami wykorzystującymi różne narzędzia badawcze (Lamentowicz i in., 2025).

Aby umożliwić trafną i rzetelną interpretację sygnałów izotopowych uzyskiwanych z materii organicznej makrofitów oraz z osadów przez nie deponowanych, konieczne jest uwzględnienie zmienności kluczowych czynników środowiskowych. Zmienność ta w istotny sposób wpływa na ustalanie się sygnatur izotopowych węgla i azotu w tych komponentach ekosystemów wodnych. W dalszej części omówione zostaną główne czynniki kształtujące te sygnatury.

Sygnatury izotopowe węgla ($\delta^{13}\text{C}$) w materii organicznej zanurzonych makrofitów są w dużej mierze determinowane przez czynniki kształtujące skład izotopowy rozpuszczonego w wodzie węgla nieorganicznego (*ang.* DIC – Dissolved Inorganic Carbon). Kluczowym z tych czynników jest pH, które decyduje o proporcjach poszczególnych form DIC. W środowiskach kwaśnych (niskie pH) dominuje rozpuszczony CO_2 , przy pH zbliżonym do obojętnego obserwuje się zbliżony udział CO_2 i HCO_3^- , natomiast w zakresie pH od obojętnego do około 8,5 rośnie udział jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-). W wodach zasadowych, o pH powyżej 8,5, dominującą formą DIC stają się jony węglanowe (CO_3^{2-}). Układ tych proporcji jest na tyle istotny, gdyż CO_2 i HCO_3^- , które pobierane są, przez część roślinności wodnej, do procesów fotosyntezy, różni się znacząco (o 8-12‰) między sobą sygnaturami izotopowymi węgla (Zhang i in., 1995). Drugim istotnym elementem wpływającym na pulę DIC i jego skład izotopowy w ekosystemach wodnych jest czas wymiany wody lub źródło dopływu wód, gdyż wody gruntowe generalnie charakteryzują się niższymi wartościami $\delta^{13}\text{C}$ niż wody powierzchniowe, zwłaszcza te stojące, pozbawione dopływu wód płynących (Leng i Marshall, 2004). Równie istotny jest tzw. efekt biogeniczny, wynikający z procesów biosyntezy, takich jak typ i przebieg fotosyntezy, warunki wzrostu, dostępność światła itp. oraz typ i rodzaj materii organicznej poddanej procesowi mineralizacji, gdzie często inicjalne, tlenowe procesy rozkładu materii organicznej prowadzą do wzrostu ilości ^{12}C w pulu DIC (Havig i in. al., 2018; Heredia

i in., 2022). Ponadto w złożonych ekosystemach wodnych, zwłaszcza jeziornych, gdzie wymiana wody nie zachodzi tak dynamicznie jak w ekosystemach rzecznych na kształtowanie się wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ wpływa wiele innych czynników. Obejmują one szerokie spektrum elementów, w tym, między innymi, wahania temperatury, aktywność biologiczną organizmów zasiedlających badany ekosystem wodny oraz inne powiązane ze sobą procesy (Leng i Marshall, 2004).

W interpretacji wartości $\delta^{15}\text{N}$ zanurzonych makrofitów kluczowe jest uwzględnienie źródła azotu wykorzystywanego w procesie ich wzrostu. Formy azotu o wysokich wartościach $\delta^{15}\text{N}$, zwłaszcza przekraczających +10,0‰, wskazują zwykle na antropogeniczne pochodzenie, takie jak ścieki bytowe lub nawozy organiczne pochodzenia zwierzęcego (Guo i in., 2022; Heredia i in., 2022; Vrzel i in., 2016). Niższe wartości, mieszczące się w zakresie od +0,5‰ do około +6,5‰, są typowe dla azotanów pochodzących z nawozów mineralnych (Kendall, 1998). Azot pochodzący z depozycji atmosferycznej charakteryzuje się wartością $\delta^{15}\text{N}$ zbliżoną do 0‰, o ile nie pochodzi z dodatkowych antropogenicznych emisji do atmosfery (Kendall, 1998). W przypadku występowania takich emisji rozpuszczony nieorganiczny azot (*ang.* Dissolved Inorganic Nitrogen – DIN) doprowadzany do wód powierzchniowych wraz z opadami może osiągać wartości $\delta^{15}\text{N}$ od –10‰ do +8‰, a w skrajnych przypadkach nawet do +30‰ (Kendall, 1998). W przedstawianych tu ośmiu pracach wchodzących w skład dwóch powiązanych ze sobą osiągnięć naukowych podjąłem się szczegółowej analizy wpływu szeregu parametrów środowiskowych na skład stabilnych izotopów węgla oraz azotu ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) całościowej materii organicznej ze szczególnym uwzględnieniem zanurzonych makrofitów. Jak niejednokrotnie wykazano, materia organiczna pochodzenia roślinnego jest składową osadów dennych, a niekiedy może stanowić ich znaczny udział (Douglas i in., 2022; Duan i in., 2022; Guo i in., 2020; Meyers i Ishiwatari, 1993; Thompson i in., 2018). Tym bardziej szczegółowe rozpoznanie czynników kształtujących sygnał izotopowy jest istotne, umożliwiając rzetelniejszą interpretację wyników analiz zdeponowanej materii organicznej w osadach ekosystemów wodnych.

Chciałbym również nadmienić, iż cykl prac stanowiący **osiągnięcie naukowe I oraz II (Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej roślinności i osadów jezior lobeliowych składające się z 3 prac: 1. Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024. Characteristics of Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Different Ecological Plant Groups and Sediments Collected from 14 Softwater Lakes in Poland. Water (Switzerland) 16, 3403. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w16233403>; 2. Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024.**

Lobelia Lakes' Vegetation and Its Photosynthesis Pathways Concerning Water Parameters and the Stable Carbon Isotopic Composition of Plants' Organic Matter. *Plants* 13, 2529. <https://doi.org/10.3390/plants13172529>; **3. Pronin, E.**, Merdalski, M., Ronowski, R., Banaś, K., 2025. Variation of carbon and nitrogen stable isotope composition in leaves and roots of *Littorella uniflora* (L.) Asch. in relation to water pH and nutrient availability. *Aquat. Bot.* 196, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2024.103832>) stanowi zbiór zrealizowanych na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat badań prowadzonych we współpracy z partnerami krajowymi i zagranicznymi (rozdział 4.2). Należy podkreślić, iż cykl ten powstał po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora i był efektem kierowania przeze mnie projektami naukowymi finansowanymi z różnych źródeł: zarówno międzynarodowych (projekt ExpeER – Experimentation in Ecosystem Research w ramach 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej, który nosił tytuł: *Stable carbon isotopic composition of aquatic plants organic matter in relation to salinity gradient*) jak i krajowych z NCN (Sonatina 3, tytuł projektu: *Zróżnicowanie składu stabilnych izotopów węgla i azotu roślinności, wody i osadów wzdłuż gradientu zakwaszenia jezior lobeliowych*) oraz wewnątrzuniwersyteckich (UGrants-start finansowanych z środków Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza – IDUB numerze 1220/34/2022, który był ukierunkowany na *analizy składu stabilnych izotopów węgla i azotu w roślinności wodnej materiałów archiwalnych Katedry Ekologii Roślin UG z różnych typów ekosystemów wodnych*).

Osiągnięcie naukowe I: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów w różnych ekosystemach wodnych

W tej części skupię się na próbie odpowiedzi na pytanie: **W jaki sposób typ ekosystemu wodnego determinuje sygnał izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów? Przedstawię poniżej najważniejsze wyniki sygnału izotopowego z pięciu prac, w których wykorzystałem materię organiczną makrofitów pobraną z kilku zróżnicowanych środowisk wodnych.** Jako pierwszy typ ekosystemów wodnych przedstawię tu środowisko słonawych zatok Morza Bałtyckiego oraz jednego twardowodnego jeziora, następnie jezior twardowodnych i miękkowodnych oraz rzek i jezior twardowodnych północnej Polski i potencjalnego wpływu zróżnicowania warunków panujących w tych ekosystemach na ustalanie się składu izotopowego ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej makrofitów.

Ekosystemy brakiczne stanowią wyjątkową strefę przejściową między wodami słodkimi a morskimi, w której makrofity funkcjonują pod silną presją zmienności zasolenia, dostępności

rozpuszczonego węgla nieorganicznego oraz specyficznych warunków biogeochemicznych (Albert i in., 2024). Ta specyficzna natura środowiska życia makrofitów sprzyja kształtowaniu złożonych mechanizmów poboru i wykorzystania zasobów, co czyni roślinność bracką szczególnie cennym obiektem analiz stabilnych izotopów węgla (Cloern i in., 2002). Z tego względu zainteresowałem się badaniami sygnału izotopowego węgla w tego typu ekosystemie jakim jest Morze Bałtyckie. Efektem czego było przeprowadzenie badań prowadzących do powstania pierwszej pracy z cyklu dotyczącego **osiągnięcia naukowego I (Pronin, E., Panettieri, M., Torn, K., Rumpel, C., 2019. Stable carbon isotopic composition of dissolved inorganic carbon (DIC) as a driving factor of aquatic plants organic matter build-up related to salinity. *Ecol. Indic.* 99, 230–239).** W pracy tej postanowiłem wraz z zespołem sprawdzić jak krótki gradient zasolenia wpływa na kształtowanie się sygnatury izotopowej węgla w łodygach oraz liściach powszechnie występującej w Europie i na całym świecie (z wyłączeniem Antarktydy) zanurzonej rośliny naczyniowej *Stuckenia pectinata* (L.) Böerner 1912 syn. *Potamogeton pectinatus* L 1753. Postawiona w pracy **hipoteza zakładała, że będą istnieć różnice pomiędzy badanymi komponentami materii organicznej tj. sygnaturą izotopową całkowitej materii organicznej oraz monofenoli ligniny w liściach i łodygach *S. pectinata* oraz stosunkiem C/N i zawartości ligniny i będzie to zróżnicowane ze względu na zasolenie wody na uwzględnionych w badaniu stanowiskach.** Badania przeprowadzone zostały w pięciu lokalizacjach północnej Estonii tj. w czterech zatokach Morza Bałtyckiego w okolicach Tallina oraz wysp Hiiuma i Saaremaa oraz w jeziorze Maardu niedaleko Tallina. Badania miały na celu ocenę wpływu składu izotopowego nieorganicznego węgla rozpuszczonego w wodzie ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) na sygnał izotopowy materii organicznej *S. pectinata* wzdłuż gradientu zasolenia. Analizy obejmowały oznaczenia $\delta^{13}\text{C}$ materii organicznej liści i łodyg ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$), stosunku C/N oraz izotopowego składu monofenoli ligniny ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VSC}}$), które ekstrahowano metodą utleniania z tlenkiem miedzi (CuO). Wyniki wykazały wyraźne zróżnicowanie $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ pomiędzy wodami słodkimi z Jeziora Maardu a słonawymi z estońskich zatok oraz silną dodatnią korelację $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ z $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$, co wskazuje na kluczową rolę puli DIC w kształtowaniu izotopowego składu materii organicznej liści i łodyg *S. pectinata*. Ponadto, materia organiczna *S. pectinata* była systematycznie wzbogacona w ^{13}C na stanowiskach o wyższym zasoleniu, a wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ dodatkowo korelowały ze stosunkiem C/N, co sugeruje możliwość wykorzystania tych wskaźników do identyfikacji szczątków makrofitów w osadach, jednak z zachowaniem zdroworozsądkowego sceptycyzmu i przy uwzględnieniu innych wskaźników zdeponowanych w osadach dennych. Dodatkowo monofenole ligniny zgrupowane w trzy podstawowe grupy tych związków (V – wanilina, acetowanilon i kwas wanilinowy, S – jednostki ligniny typu

syringaldehyd, acetosyringon, kwas syringowy oraz C – kwas p-kumarowy i kwas ferulowy, cynamyl) były zubożone w cięższy izotop węgla ^{13}C względem wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ całkowitej materii organicznej, odzwierciedlając typowy biochemiczny wzorzec syntezy ligniny znany z tych spotykanych u roślin lądowych. Skład monofenoli (VSC) i stwierdzone wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{VSC}}$ wskazują jednak, że zarówno zasolenie, jak i głębokość stanowisk mogły współkształtować procesy ich biosyntezy w tkankach *S. pectinata*, co zobrazowała dość wyraźnie analiza składowych głównych (*ang.* Principal Component Analysis – PCA) oparta na pierwszych dwóch głównych składowych wyjaśniających ponad 84% całkowitej zmienności. Warto również podkreślić, iż nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy wartościami $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ i $\delta^{13}\text{C}_{\text{VSC}}$ między porównywaną materią organiczną liści i łodyg. Uzyskane w pracy wyniki potwierdzają, że wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ całościowej materii organicznej tego gatunku stanowią czuły wskaźnik warunków środowiskowych, a ich interpretacja wsparta analizą C/N i $\delta^{13}\text{C}_{\text{VSC}}$ może istotnie zwiększyć precyzję rekonstrukcji paleośrodowiskowych.

Stwierdzone we wcześniejszych badaniach wyraźne różnice w sygnale izotopowym pomiędzy jeziorem twardowodnym z udziałem roślinności ramienicowej (Pronin i in., 2019) a ekosystemami słonawych zatok skłoniły mnie do podjęcia kolejnych badań. Zainspirowało mnie to do sprawdzenia, czy podobne zróżnicowanie można zaobserwować w dwóch kontrastowych środowiskach jeziornych: jezior miękowodnych, charakteryzujących się niskimi stężeniami wapnia, oraz jezior twardowodnych, w których koncentracja tego pierwiastka jest znacząco wyższa. Zanurzone makroglony z rodzaju *Nitella*, a zwłaszcza częściej występująca *Nitella flexilis* (L.) C. Agardh, wydają się idealnym obiektem do takich badań. Ich obecność w tych kontrastowych pod względem chemicznym środowiskach wzbudziła moje zainteresowanie, by sprawdzić, czy różnice w składzie wód znajdują odzwierciedlenie w sygnale izotopowym ich materii organicznej (**Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2023. Do stable carbon and nitrogen isotope values of *Nitella flexilis* differ between softwater and hardwater lakes? *Aquat. Sci.* 85, 79).** W badaniach tych skupiono się na porównaniu sygnatur izotopowych węgla i azotu w gatunku ramienicy z rodzaju krynicznik tj. *Nitella flexilis*. Gatunek ten jest cennym obiektem badań, ponieważ występuje zarówno w jeziorach miękowodnych, cechujących się niską mineralizacją wody oraz niskim stężeniem jonów wapnia (Ca^{2+}) w wodzie, oraz bardziej bogatych w rozpuszczone substancje mineralne oraz Ca^{2+} jeziorach twardowodnych (Urbaniak i Gąbka, 2014). Zatem postanowiono przetestować **hipotezę mówiącą o tym, że zróżnicowanie siedliskowe tj. pochodzenie materii organicznej *N. flexilis* z miękowodnych i twardowodnych jezior będzie skutkowało zróżnicowaniem jej sygnatur**

izotopowych węgla i azotu. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ materii organicznej nie różnią się istotnie pomiędzy dwoma badanymi typami siedlisk, zatem postawioną hipotezę należy odrzucić, pomimo, iż znaczna część parametrów fizyczno-chemicznych między badanymi typami jezior istotnie się różniła (pH, stężenie Ca^{2+} przewodność elektrolityczna, stężenie fosforu całkowitego, stężenie DIC). Stwierdzono, iż brak zaobserwowanych istotnych statystycznie różnic zwłaszcza w przypadku $\delta^{13}\text{C}$ materii organicznej mimo znaczących różnic w zmiennych fizyczno-chemicznych może być spowodowany tym, iż *Nitella flexilis* zajmuje zazwyczaj najgłębsze stanowiska w jeziorach, gdzie dostęp do rozpuszczonego CO_2 nie jest aż tak bardzo limitowany jak na stanowiskach płytkich (podobne zależności stwierdziłem w swojej pracy doktorskiej pomiędzy dwoma ramienicami *Chara tomentosa* L. i *Chara globularis* Thuill. i opublikowałem je tuż przed obroną pracy doktorskiej; Pronin i in., 2016), gdzie badano np. *S. pectinata*, która podobnie jak *N. flexilis* ma możliwość korzystania z CO_2 i HCO_3^- do procesów fotosyntezy (Chmara i in., 2021; Iversen i in., 2019). Brak zróżnicowania w $\delta^{15}\text{N}$ może być związany z faktem, iż badane jeziora, w których występuje *N. flexilis*, to zazwyczaj jeziora czyste, śródlęśne nienarażone zbyt mocno na presję antropogeniczną, stąd brak wyższych wartości $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ mogących świadczyć o dopływie ścieków bytowych czy też nawozów z pól pochodzenia odzwierzęcego cechujących się wysokimi wartościami $\delta^{15}\text{N}$ (Guo i in., 2022; Pronin i in., 2025b). Wyraźne zróżnicowanie parametrów fizyczno-chemicznych dwóch badanych typów siedlisk zaznaczył się na wykonanej analizie PCA, gdzie stanowiska z poszczególnych jezior miękko i twardowodnych zgrupowały się w odrębnych miejscach w przestrzeni ordynacyjnej. Analiza PCA (wyjaśniająca ponad 50% całkowitej zmienności) wykazała znaczną zależność wartości sygnatur izotopowych węgla z badanymi parametrami związanymi z kondycją świetlną w jeziorach (głębokość, stężenie węgla organicznego rozpuszczonego w wodzie, PAR – stężenie światła fotosyntetycznie czynnego) oraz ze stężeniem Ca^{2+} i wartością przewodnictwa elektrolitycznego, DIC i pH wody, które silnie korelowały z pierwszą składową główną odzwierciedlającą gradient twardości wód tych jezior. Natomiast sygnatury izotopowe azotu były skorelowane z stężeniem azotu ogólnego oraz również z wymienionymi wyżej zmiennymi, najsilniej związanymi z pierwszą składową główną. Jednak znaczny udział niewyjaśnionej zmienności w analizie PCA wskazuje na potrzebę prowadzenia dalszych badań, zwłaszcza w warunkach eksperymentalnych. Badania te umożliwiłyby bardziej precyzyjne określenie czynników środowiskowych kształtujących zmienność izotopową, a tym samym udoskonalenie interpretacji pochodzenia materii organicznej w osadach jeziornych oraz modeli troficznych uwzględniających ramienice jako producentów pierwotnych.

Różnorodne zależności dotyczące składu stabilnych izotopów węgla i azotu w wcześniej analizowanych ekosystemach wodnych, a także fakt, że w udostępnionych mi materiałach zielnikowych roślinności zanurzonej, zgromadzonych w Katedrze Ekologii Roślin Uniwersytetu Gdańskiego, znalazły się również próbki pobrane z ekosystemów rzecznych, skłoniły mnie do włączenia tego materiału do własnych analiz. W konsekwencji powstała praca **(Pronin, E., Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. Ecohydrol. Hydrobiol. 100650)**, która dotyczyła możliwości wykorzystania sygnatur izotopowych węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}$) w materii organicznej makrofitów jako wskaźników presji antropogenicznej i potencjalnego dopływu biogenów różnego pochodzenia do ekosystemów rzecznych. **Postawiono hipotezę, że wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ w tkankach zanurzonych makrofitów odzwierciedlają intensywność dopływu substancji biogenych pochodzących z działalności człowieka, a ich zróżnicowanie jest powiązane z typem użytkowania zlewni (rolnicze, leśne, miejskie).** Badania przeprowadzono w 46 stanowiskach obejmujących 15 rzek północnej Polski, zróżnicowanych pod względem warunków hydromorfologicznych, chemicznych oraz struktury użytkowania zlewni. Analizowano cztery gatunki makrofitów: *Elodea canadensis* Michx., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton perfoliatus* L. i *S. pectinata*. Próbkę roślin zebrano w latach 2008–2010, a analizy izotopowe przeprowadzono w 2022 roku w laboratorium GISMO (Geochemistry and ISotopic MethOds). Stwierdzono istotne różnice międzygatunkowe w wartościach $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ materii organicznej. Gatunek *P. crispus* wykazywał najniższe wartości $\delta^{13}\text{C}$ (mediana -28,83‰), a *P. perfoliatus* najwyższe (-24,10‰). Dla $\delta^{15}\text{N}$ najwyższe wartości mediany odnotowano u *S. pectinata* (+9,25‰), najniższe u *E. canadensis* (+4,77‰). Zróżnicowanie wartości izotopowych było także związane z typem użytkowania zlewni. W zlewniach miejskich notowano niższe wartości $\delta^{13}\text{C}$ (-31,92‰) i wyższe $\delta^{15}\text{N}$ (+10,62‰), wskazujące na dopływ materii organicznej i azotu pochodzenia antropogenicznego związanego z ściekami komunalnymi. Analiza PCA potwierdziła, że zmienność $\delta^{13}\text{C}$ była silnie powiązana z udziałem terenów rolniczych i przewodnością elektrolityczną wody, natomiast $\delta^{15}\text{N}$ korelował z udziałem obszarów zurbanizowanych, gęstością zaludnienia i stężeniem fosforu ogólnego. Wyniki jednoznacznie wskazują, że sygnatury izotopowe makrofitów mogą stanowić czuły, zintegrowany wskaźnik długoterminowego wpływu użytkowania terenu i źródeł zanieczyszczeń na ekosystemy rzeczne, gdyż są stałym, niemigrującym elementem biotycznym w danym miejscu rzeki. Jednocześnie nasze wyniki potwierdzają znaczną odmienność wartości $\delta^{15}\text{N}$ makrofitów w rzekach, które są znacznie wyższe niż te notowane w jeziorach

twardowodnych i miękkowodnych (Pronin, 2024; Pronin i in., 2024b, 2023). Praca ma również istotny wymiar aplikacyjny, gdyż proponuje wykorzystanie analizy izotopowej roślin wodnych jako uzupełnienia tradycyjnych metod monitoringu środowiska wodnego, dostarczając narzędzia do oceny trwałych trendów zanieczyszczenia i presji antropogenicznej w ekosystemach rzecznych.

Zestawienie danych z ekosystemów rzecznych z wynikami uzyskanymi w jeziorach twardowodnych północnej Polski pozwoliło przeprowadzić bezpośrednie porównanie sygnału izotopowego makrofitów reprezentujących dwa odmienne typy środowisk wodnych (Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., Pronin, E., 2025. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signatures in Three Pondweed Species—A Case Study of Rivers and Lakes in Northern Poland. *Plants* 14: 2261). Analiza objęła trzy gatunki rdestnic: *Potamogeton crispus*, *Potamogeton perfoliatus* oraz *Stuckenia pectinata* zasiedlające zarówno rzeki, jak i jeziora. Celem przeprowadzonych badań było określenie, w jakim stopniu sygnatury izotopowe węgla ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$) w tkankach makrofitów odzwierciedlają różnice środowiskowe pomiędzy jeziorami i rzekami oraz w jakim stopniu mogą stanowić wskaźnik presji antropogenicznej i eutrofizacji. **Postawiono hipotezę, że wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ w gatunkach z rodzaju *Potamogeton* i *Stuckenia* (tj. *S. pectinata*, *P. perfoliatus* i *P. crispus*) różnicują się w zależności od typu ekosystemu wodnego, a ich zmienność wiąże się z cechami fizykochemicznymi wód, hydromorfologią oraz intensywnością presji antropogenicznej.** Materiał roślinny pozyskano w latach 2008–2011 z 38 stanowisk rzecznych i 108 jeziornych w północnej Polsce, a analizy izotopowe przeprowadzono w laboratorium GISMO (Uniwersytet Burgundzki we Francji). Stwierdzono istotne różnice w wartościach $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ pomiędzy środowiskami, gdzie wyższe wartości $\delta^{13}\text{C}$ notowano w jeziorach oraz wyższe $\delta^{15}\text{N}$ w rzekach, co wskazuje na odmienne mechanizmy obiegu pierwiastków i większą podatność i ekspozycję rzek na dopływ biogenów. Analizy korelacyjne wykazały ujemną zależność między $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ i $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ oraz istotne związki $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ z natlenieniem i głębokością stanowisk z których pobierano materiał roślinny, a $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ z przewodnością elektrolityczną, stężeniem jonów Ca^{2+} , HCO_3^- , rozpuszczonego węgla organicznego (*ang.* DOC – dissolved organic carbon) oraz azotu całkowitego. Wyniki potwierdziły, że $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ stanowi szczególnie czuły wskaźnik antropogenicznego dopływu azotu i eutrofizacji, natomiast $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ odzwierciedla procesy oraz mechanizmy związane z fotosyntezą i dostępność węgla nieorganicznego. Wyniki dostarczają kolejną porcję informacji mogących stanowić podstawy do rozwoju wykorzystania makrofitów jako bioindykatorów presji środowiskowej i narzędzia oceny stanu ekologicznego wód w kontekście założeń Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Mając na uwadze wyraźne różnice w sygnałach izotopowych między ekosystemami jezior twardowodnych i rzecznych, a także dysponując dodatkowymi próbkami jednego gatunku pochodzącymi z jezior miękkowodnych, zdecydowałem się sprawdzić, czy sygnatury izotopowe, uzupełnione o analizę wybranych parametrów badanego materiału roślinnego, mogą stanowić użyteczne narzędzie do identyfikacji typu ekosystemu, z którego pochodzą badane rośliny (**Pronin, E., 2024. The Possible Use of Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signal and Spectral Analysis to Identify Habitat Condition of Aquatic Plants. *Limnol. Rev.* 24, 17–29**). W tym badaniu skupiłem się na odpowiedzi izotopowej występującego w Polsce obcego gatunku zanurzonej rośliny wodnej tj. *Elodea canadensis*. **Celem pracy było zbadanie możliwości wykorzystania połączonych analiz sygnatur izotopowych węgla ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$) oraz spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR-ATR) do identyfikacji warunków siedliskowych zanurzonych makrofitów, nawet w przypadku braku informacji o miejscu pochodzenia próbek.** W pracy skupiłem się na porównaniu wyników sygnatur izotopowych całościowej materii organicznej *E. canadensis* z trzech typów ekosystemów wodnych tj. z jezior miękkowodnych i twardowodnych oraz rzek północnej Polski. Materiał roślinny zebrano z 21 stanowisk w północnej Polsce, obejmujących wymienione wyżej trzy typy środowisk wodnych. W analizach izotopowych oznaczono wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ w materii organicznej po pozbyciu się węglanu wapnia z próbek. Natomiast za pomocą FTIR-ATR zbadano widma w zakresie $800\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$, koncentrując się na pasmach odpowiadających obecności węglanów w próbkach. Metodę FTIR-ATR zastosowano dla dwóch typów próbek z jezior twardowodnych i rzek (1) tych gdzie nie pozbyto się węglanu wapnia oraz (2) w tych, gdzie węglan wapnia został usunięty. Dla jezior miękkowodnych materiał nie zawierał węglanu wapnia, co sprawdzano działaniem kwasu solnego, więc tylko taki materiał poddano analizom FTIR-ATR. Wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ *E. canadensis* były najniższe w rzekach, wyższe w jeziorach, przy czym nie stwierdzono istotnych różnic między jeziorami międko- i twardowodnymi podobnie jak w przypadku omawianego wcześniej gatunku *N. flexilis* (Pronin i in. 2023) oraz między rzekami a jeziorami twardowodnymi. Natomiast wartości $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ były istotnie wyższe w próbkach z rzek, co wskazuje na wpływ dopływu azotu organicznego związanego z działalnością człowieka (Guo i in., 2022; Pronin i in., 2025b). Analiza widm FTIR-ATR ujawniła wyraźne różnice pomiędzy materiałem z jezior twardowodnych gdzie nie usunięto węglanu wapnia a pozostałymi środowiskami. W widmach FTIR-ATR z jezior twardowodnych zarejestrowano wyraźny pik świadczący o obecności węglanu wapnia w próbce, czego nie wykazano dla materiału z jezior miękkowodnych i rzek z uwagi na to, iż w jeziorach miękkowodnych wytrącanie węglanu

wapnia przy małych stężeniach Ca^{2+} prawie nie występuje, natomiast w rzekach intensywny przepływ wody może wypłukiwać wytrącony węglan wapnia, który nie akumuluje się tak intensywnie, jak w przypadku jezior twardowodnych, na powierzchni rośliny. Wyniki potwierdziły zatem, że połączenie analizy izotopowej i spektroskopowej umożliwia identyfikację pochodzenia materiału roślinnego z różnych typów ekosystemów wodnych, co stanowi nowatorskie podejście o dużym potencjale zastosowania w ekologii, paleoekologii oraz badaniach zielnikowych.

Podsumowując prezentowany cykl badań jednoznacznie wskazuje, że sygnał izotopowy makrofitów, zarówno węgla, jak i azotu, jest efektem współoddziaływania szeregu zmiennych środowiskowych i procesów fizjologicznych, których znaczenie ujawnia się dopiero w porównaniach między ekosystemami oraz wzdłuż zróżnicowanych gradientów siedliskowych. Analizy prowadzone w ekosystemach słonawych, miękowodnych, twardowodnych oraz rzecznych pokazały, że interpretacja otrzymanych wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ i $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ wymaga uwzględnienia nie tylko podstawowych parametrów fizykochemicznych, lecz również specyficznych warunków związanych z dynamiką obiegu węgla i azotu, dostępnością DIC, presją antropogeniczną oraz głębokością zasiedlania stanowisk. Zestawienie wyników z różnych typów środowisk potwierdziło, że makrofity zachowują w swoich tkankach kluczowe informacje o procesach zachodzących w wodach, a ich sygnatury izotopowe mogą pełnić funkcję czułego, wieloaspektowego narzędzia diagnostycznego. Jednocześnie badania te podkreślają konieczność dalszego rozwijania analiz eksperymentalnych oraz uwzględniania zmiennych dotąd marginalizowanych, co pozwoli nie tylko precyzyjniej interpretować zdeponowaną materię organiczną w osadach, lecz także rozszerzyć zastosowanie makrofitów jako bioindykatorów w nowoczesnych systemach oceny jakości wód.

Bibliografia

Albert, G., Pajusalu, L., Pritchard, D.W., Hepburn, C.D., Torn, K., Paalme, T., Põllumäe, A., Martin, G., 2024. Comparison of carbon uptake strategies between *Chara aspera* and *Chara tomentosa* growing in the brackish Baltic Sea and in the freshwater lakes of Estonia. *Front. Freshw. Sci.* 2. <https://doi.org/10.3389/ffwsc.2024.1421114>

Chappuis, E., Serriñá, V., Martí, E., Ballesteros, E., Gacia, E., 2017. Decrypting stable-isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) variability in aquatic plants. *Freshw. Biol.* 62, 1807–1818. <https://doi.org/10.1111/fwb.12996>

Chmara, R., Pronin, E., Szejeja, J., 2021. Functional macrophyte trait variation as a response to the source of inorganic carbon acquisition. *PeerJ* 9, e12584. <https://doi.org/10.7717/peerj.12584>

Cloern, J.E., Canuel, E.A., Harris, D., 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnol. Oceanogr.* 47, 713–729. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.3.0713>

Douglas, P.M.J., Stratigopoulos, E., Park, S., Keenan, B., 2022. Spatial differentiation of sediment organic matter isotopic composition and inferred sources in a temperate forest lake catchment. *Chem. Geol.* 603, 120887. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.120887>

Duan, L., Zhang, H., Chang, F., Li, D., Liu, Q., Zhang, X., Liu, F., Zhang, Y., 2022. Isotopic constraints on sources of organic matter in surface sediments from two north–south oriented lakes of the Yunnan Plateau, Southwest China. *J. Soils Sediments* 1597–1608. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03191-2>

Guo, H.R., Wu, Y., Hu, C.C., Liu, X.Y., 2022. Elevated Nitrate Preference Over Ammonium in Aquatic Plants by Nitrogen Loadings in a City River. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 127, 1–14. <https://doi.org/10.1029/2021JG006614>

Guo, Q., Wang, C., Wei, R., Zhu, G., Cui, M., Okolic, C.P., 2020. Qualitative and quantitative analysis of source for organic carbon and nitrogen in sediments of rivers and lakes based on stable isotopes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 195, 110436. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110436>

Havig, J.R., Hamilton, T.L., McCormick, M., McClure, B., Sowers, T., Wegter, B., Kump, L.R., 2018. Water column and sediment stable carbon isotope biogeochemistry of permanently redox-stratified Fayetteville Green Lake, New York, U.S.A. *Limnol. Oceanogr.* 63, 570–587. <https://doi.org/10.1002/lno.10649>

Heredia, C., Guédron, S., Point, D., Perrot, V., Campillo, S., Verin, C., Espinoza, M.E., Fernandez, P., Duwig, C., Achá, D., 2022. Anthropogenic eutrophication of Lake Titicaca (Bolivia) revealed by carbon and nitrogen stable isotopes fingerprinting. *Sci. Total Environ.* 845, 157286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157286>

Iversen, L.L., Winkel, A., Baastrup-Spohr, L., Hinke, A.B., Alahuhta, J., Baastrup-Pedersen, A., Birk, S., Brodersen, P., Chambers, P.A., Ecke, F., Feldmann, T., Gebler, D., Heino, J., Jespersen, T.S., Moe, S.J., Riis, T., Sass, L., Vestergaard, O., Maberly, S.C., Sand-Jensen, K., Pedersen, O., 2019. Catchment properties and the photosynthetic trait composition of freshwater plant communities. *Science* (80-.). 366, 878–881. <https://doi.org/10.1126/science.aay5945>

Kendall, C., 1998. Tracing Nitrogen Sources and Cycling in Catchments, *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81546-0.50023-9>

Lamentowicz, M., Andrews, L., Czerwiński, S., Marcisz, K., 2025. Multi-proxy palaeoecological studies from peatlands: a comprehensive review of recent advances and future developments. *Earth-Science Rev.* 271, 105278. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105278>

Leng, M.J., Marshall, J.D., 2004. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quat. Sci. Rev.* 23, 811–831. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.06.012>

Meyers, P.A., Ishiwatari, R., 1993. Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Org. Geochem.* 20, 867–900. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90100-P](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90100-P)

O’Leary, M.H., 1988. Carbon Isotopes in Photosynthesis. *Bioscience* 38, 328–336. <https://doi.org/10.2307/1310735>

Osmond, C.B., Valaane, N., Haslam, S.M., Uotila, P., Roksandic, Z., 1981. Comparisons of $\delta^{13}\text{C}$ values in leaves of aquatic macrophytes from different habitats in Britain and Finland; some implications for photosynthetic processes in aquatic plants. *Oecologia* 50, 117–124. <https://doi.org/10.1007/BF00378804>

Pronin, E., 2024. The Possible Use of Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signal and Spectral Analysis to Identify Habitat Condition of Aquatic Plants. *Limnol. Rev.* 24, 17–29. <https://doi.org/10.3390/limnolrev24010002>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024a. Lobelia Lakes' Vegetation and Its Photosynthesis Pathways Concerning Water Parameters and the Stable Carbon Isotopic Composition of Plants' Organic Matter. *Plants* 13, 2529. <https://doi.org/10.3390/plants13172529>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024b. Characteristics of Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Different Ecological Plant Groups and Sediments Collected from 14 Softwater Lakes in Poland. *Water (Switzerland)* 16, 3403. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w16233403>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2023. Do stable carbon and nitrogen isotope values of *Nitella flexilis* differ between softwater and hardwater lakes? *Aquat. Sci.* 85, 79. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00976-6>

Pronin, E., Merdalski, M., Ronowski, R., Banaś, K., 2025a. Variation of carbon and nitrogen stable isotope composition in leaves and roots of *Littorella uniflora* (L.) Asch. in relation to water pH and nutrient availability. *Aquat. Bot.* 196, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2024.103832>

Pronin, E., Panettieri, M., Torn, K., Rumpel, C., 2019. Stable carbon isotopic composition of dissolved inorganic carbon (DIC) as a driving factor of aquatic plants organic matter build-up related to salinity. *Ecol. Indic.* 99, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.036>

Pronin, E., Pelechaty, M., Apolinarska, K., Pukacz, A., Frankowski, M., 2016. Sharp differences in the $\delta^{13}\text{C}$ values of organic matter and carbonate encrustations but not in ambient water DIC between two morphologically distinct charophytes. *Hydrobiologia* 773. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2698-6>

Pronin, E., Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025b. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 100650. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100650>

Richardson, K., Griffiths, H., Reed, M.L., Raven, J.A., Griffiths, N.M., 1984. Inorganic carbon assimilation in the Isoetids, *Isoetes lacustris* L. and *Lobelia dortmanna* L. *Oecologia* 61, 115–121. <https://doi.org/10.1007/BF00379096>

Ronowski, R.P., Banaś, K., Merdalski, M., Szymeja, J., 2020. Plant replacement trend in soft-water lakes with isoetids. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 49, 157–167. <https://doi.org/10.1515/ohs-2020-0015>

Stock, B.C., Jackson, A.L., Ward, E.J., Parnell, A.C., Phillips, D.L., Semmens, B.X., 2018. Analyzing mixing systems using a new generation of Bayesian tracer mixing models. *PeerJ* 2018, 1–27. <https://doi.org/10.7717/peerj.5096>

Thompson, H.A., White, J.R., Pratt, L.M., 2018. Spatial variation in stable isotopic composition of organic matter of macrophytes and sediments from a small Arctic lake in west Greenland. *Arctic, Antarct. Alp. Res.* 50. <https://doi.org/10.1080/15230430.2017.1420282>

Urbaniak, J., Gąbka, M., 2014. Polish Charophytes An Illustrated Guide to Identification. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.

Vrzel, J., Vuković-Gačić, B., Kolarević, S., Gačić, Z., Kračun-Kolarević, M., Kostić, J., Aborgiba, M., Farnleitner, A., Reischer, G., Linke, R., Paunović, M., Ogrinc, N., 2016. Determination of the sources of nitrate and the microbiological sources of pollution in the Sava River Basin. *Sci. Total Environ.* 573, 1460–1471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.213>

Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., Pronin, E., 2025. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Signatures in Three Pondweed Species—A Case Study of Rivers and Lakes in Northern Poland. *Plants* 14, 2261. <https://doi.org/10.3390/plants14152261>

Zhang, J., Quay, P.D., Wilbur, D.O., 1995. Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO₂. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 107–114. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)91550-D](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)91550-D)

Osiągnięcie naukowe II: Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) materii organicznej roślinności jezior lobeliowych

Jeziora lobeliowe stanowią unikalny typ ekosystemów wodnych ze względu na obecność specyficznej oraz prawnie chronionej roślinności z grupy izoetydów. W skład tej grupy ekologicznej wchodzi takie gatunki jak poryblin jeziorny – *Isoëtes lacustris* L., poryblin kolczasty *Isoëtes echinospora* Durieu, brzeżyca jednokwiatowa – *Littorella uniflora* (L.) Asch., stroiczka jeziorna – *Lobelia dortmanna* L. i elisma wodna – *Luronium natans* (L.) Raf. L. Obecność tych roślin jest wynikiem specyficznych warunków siedliskowych cechujących się bardzo czystą wodą, z małą ilością wapnia i substancji biogennej, niskim przewodnictwem elektrolitycznym oraz mało zasobnymi w materię organiczną osadami dennymi (Smolders i in., 2002; Pronin i in., 2024b). Są to zbiorniki skąpożyłne, wrażliwe na zmiany trofii, gdzie niejednokrotnie zwiększenie żyzności wody, czy też osadów poprzez dopływ materii organicznej z zewnątrz, przyczyniło się do ustąpienia specyficznej roślinności tych jezior i zastąpienia jej inną (Ronowski i in., 2020). W związku tym, wyniki badań nad składem stabilnych izotopów węgla i azotu ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) roślinności i osadów w dotychczas niebadanych pod tym kątem jeziorach wydają się szczególnie cenne. W Polsce, jak również w skali Europy oraz całego globu nie prowadzono do tej pory tak szeroko zakrojonych badań związanych z ustalaniem się stosunków izotopów stabilnych w charakterystycznej roślinności jezior lobeliowych oraz gatunków stosunkowo często towarzyszących tej roślinności. Nie próbowano również w tego typu jeziorach wiązać sygnału izotopowego roślinności z sygnałem izotopowym osadów jeziornych, na których ta roślinność wzrastała. Dodatkowo, z uwagi na

postępujące zmiany klimatyczne oraz nadal niedostateczne przeciwdziałanie przyspieszonemu wzrostowi trofii ekosystemów wodnych rozpoznanie zależności izotopowych materii organicznej, deponowanej w osadach tego typu jezior, wydaje się być niezbędne w celu późniejszej trafnej identyfikacji zdegradowanych lub historycznych stanowisk będących niegdyś jeziorami lobeliowymi. Uważam więc, iż przeprowadzone przeze mnie wraz z zespołem badania izotopowe roślinności i osadów, które postaram się poniżej syntetycznie scharakteryzować są wyjątkowo cenne i wnoszą znaczny wkład w badania izotopowe różnych typów ekosystemów wodnych, co syntetycznie uzupełnia i w aspekcie osadów również rozszerza opisane powyżej **osiągnięcie naukowe I**.

Badania nad składem stabilnych izotopów materii organicznej roślin oraz osadów, na których ta roślinność wzrastała prowadzone były w gradiencie środowiskowym, a konkretnie wzdłuż gradientu pH. Uwzględniono gatunki z różnych grup ekologicznych, które najczęściej występują w jeziorach lobeliowych (**Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024b. Characteristics of Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Different Ecological Plant Groups and Sediments Collected from 14 Softwater Lakes in Poland. Water (Switzerland) 16, 3403**). W pracy postawiono następujące hipotezy badawcze: **(i) skład stabilnych izotopów węgla i azotu poszczególnych grup ekologicznych wzdłuż gradientu alkalizacji jezior lobeliowych będzie się od siebie różnił z uwagi na różne mechanizmy poboru węgla i zróżnicowanej dostępności rozpuszczonego węgla nieorganicznego. Ponadto (ii) założono, że wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ i $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ osadów będzie w znacznym stopniu odpowiadała wartością $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ i $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ roślinności, która na nich wzrasta, co pozwoli stwierdzić, iż w skąpożywnych jeziorach materia organiczna osadów pochodzi z rozłożonej roślinności makrofitowej.** Wyniki wykazały znaczne zróżnicowanie pomiędzy grupami ekologicznymi ujętymi w badaniach. Najwyższe wartości stwierdzono u elodeidów oraz ramienic. Związane to było z możliwością pobierania przez te grupy roślin wzbogaconych w cięższy izotop ^{13}C wodorowęglanów HCO_3^- z wody otoczenia (Zhang i in., 1995). Natomiast najniższe wartości stwierdzono dla mchów niekorzystających z wodorowęglanów do procesu fotosyntezy. W omawianej pracy wykazano ponadto znaczący wpływ pH oraz stężenia jonów wapnia (Ca^{2+}) w wodzie na notowane wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$, gdzie wyższe wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ obserwowano na stanowiskach o wyższym pH i wyższym stężeniu jonów Ca^{2+} . Natomiast wartości $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ nie wykazywały wystarczającego zróżnicowania, by mogły odgrywać istotną rolę w interpretacji zależności między roślinnością, osadami a analizowanymi zmiennymi fizyczno-chemicznymi. Stwierdzone jedynie niewielkie zależności pomiędzy $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ roślinności a stężeniem azotu ogólnego w wodzie. Jednak rozpatrywane

ekosystemy były małozasobne w azot, stąd te związki nie były bardzo silne. Ponadto przeprowadzone analizy PCA dla sygnatur izotopowych roślinności i osadów w zestawieniu ze zmiennymi dotyczącymi parametrów fizyczno-chemicznych związanych z dwoma typami wody tj. wody z otoczenia roślinności i wody osadowej i przyosadowej wyjaśniały jedynie ponad 30% całości zmienności, co świadczy o istnieniu również innych możliwych, nieuwzględnionych w badaniu czynników w znaczącym stopniu mogących kształtować sygnał izotopowy roślinności poszczególnych grup ekologicznych zasiedlających jeziora lobeliowe. Jednakże, jednym z ważnych wyników przeprowadzonych badań było wykazanie zależności między sygnałem izotopowym roślinności a tym ustalonym w osadzie, na którym roślinność wzrastała. Analizując skład stabilnych izotopów materii organicznej wszystkich badanych gatunków łącznie, bez podziału na grupy ekologiczne wykazano umiarkowanie silną korelację dla $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ roślinności i osadów ($r = 0,69$) oraz słabą ($r = 0,31$) ale również statystycznie istotną pomiędzy wartościami $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ rozpatrywanych dwóch komponentów środowiska jezior lobeliowych. Wyniki te wskazują, iż materia organiczna zdeponowana w osadach jezior lobeliowych w dużej mierze może być zasilana przez rozkładające się makrofity. Należy nadmienić, iż w kształtowaniu sygnału izotopowego osadów dopływająca ze zlewni materia organiczna może mieć też znaczny wpływ (Douglas i in. 2022; Duan i in. 2022, Guo i in. 2020). W przeprowadzonych przez nas analizach materiału allochtonicznego wykazaliśmy, iż wartości izotopowe oraz stosunek węgla do azotu zhomogenizowanych liści, igieł, szyszek oraz gałązek materiału dopływającego ze zlewni cechowały się zbliżonymi wartościami do tych notowanych dla izoetydów, dominujących w fitolitoralu tych jezior. Wymagane zatem są bardziej szczegółowe badania aby w pełni potwierdzić te zależności. Ponadto, uzyskane w pracy wyniki ponownie podkreślają istotę bardziej szczegółowych analiz w celu rzetelnych interpretacji paleolimnologicznych opartych na zdeponowanej w osadzie materii organicznej i jej składzie izotopowym.

Szczegółowa analiza powiązań między roślinnością a osadami, zwłaszcza w kontekście grup ekologicznych, skłoniła mnie do innego spojrzenia na zgromadzone dane dotyczące izotopów węgla. Okazało się, że rośliny zdolne do wykorzystywania wodorowęglanów wyraźnie różnią się pod względem sygnatury izotopowej od gatunków pozbawionych tej zdolności (Pronin i in. 2024a). Różnice te wynikają częściowo z odmiennych strategii fotosyntezy oraz mechanizmów pozwalających tym roślinom kompensować ograniczoną dostępność rozpuszczonego CO_2 . (**Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024a. Lobelia Lakes' Vegetation and Its Photosynthesis Pathways Concerning Water Parameters and the Stable Carbon Isotopic**

Composition of Plants' Organic Matter. Plants 13, 2529.) Dlatego w kolejnych badaniach skoncentrowano się na analizie zróżnicowania wartości sygnatury izotopowej $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ roślinności jezior lobeliowych, w zależności od typu i mechanizmu prowadzenia fotosyntezy. W tym przypadku badane 10 gatunków makrofitów z 14 jezior lobeliowych północnej Polski pogrupowano względem typów i mechanizmu prowadzenia procesu fotosyntezy, tj. do grupy C3 gdzie uwzględniono wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ dwóch gatunków izoetydów (*L. natans* oraz *L. dortmanna*), mchów tj. *Sphagnum denticulatum* Brid., *Fontinalis antipyretica* Hedw., grupy CAM – *Littorella uniflora* i *Isoetes lacustris* oraz CCM – ramienic *N. flexilis*, *Chara globularis* oraz elodeidów tj. *E. canadensis* i *Myriophyllum alterniflorum* DC. **Celem badań było sprawdzenie czy dzięki sygnałowi izotopowemu całościowej materii organicznej poszczególnych grup makrofitów możliwe będzie stwierdzenie jaki typ fotosyntezy prowadzą rośliny oraz czy wykorzystują one mechanizm kompensacji węgla. Dodatkowym celem było wskazanie jakie cechy fizyczno-chemiczne wody oraz inne uwzględnione w badaniu zmienne środowiskowe determinują skład stabilnych izotopów węgla badanych roślin jezior lobeliowych.** Najważniejsze wyniki sugerują, iż roślinność jezior lobeliowych o typie fotosyntezy C3 i CAM miała znacznie niższe wartości sygnatury izotopowej $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ niż roślinność elodeidów posiadająca mechanizm kompensacji węgla i zdolność wykorzystywania wodorowęglanów do procesów fotosyntezy (Pronin i in. 2024a). Ponadto, ponownie wykazano, iż znaczna ilość czynników determinuje skład stabilnych izotopowych węgla roślinności jezior lobeliowych. Spośród tych najbardziej związanych z pierwszą składową główną z przeprowadzonych analiz PCA należy wymienić, pH wody, stężenie jonów wapnia Ca^{2+} , stężenie jonów wodorowęglanowych oraz azotu całkowitego. Natomiast z drugą i trzecią składową główną najbardziej związane były zmienne odpowiedzialne za warunki świetlne w jeziorach. Podsumowując znaczące różnice między roślinami posiadającymi mechanizm kompensacji węgla tj. tych, które do procesu fotosyntezy w odpowiednich warunkach (odczyn pH wody powyżej 8) używają węgla pochodzącego z HCO_3^- a tymi, które tego typu mechanizmu nie posiadają, zawierają się w przedziale wartości różnicujących dwie formy węgla wykorzystywane do procesu fotosyntezy. Jak już wcześniej zaznaczono, ta różnica wartości izotopowych węgla w zależności od temperatury wody waha się w przedziale od 8-12‰, co jest zgodne z uzyskanymi w pracy wynikami. Można zatem założyć, iż zmiana typu roślinności w jeziorach lobeliowych związana z ustępowaniem izoetydów na rzecz ramienic i elodeidów może być odzwierciedlona w sygnale osadów w profilu jeziornym. Wiedza ta może być przydatna do prześledzenia historii zdegradowanych jezior lobeliowych, w których charakterystyczna roślinność z grupy izoetydów całkowicie

ustąpiła. Jednak aby uwiarygodnić tego typu interpretacje należy wykorzystać również inne zmienne i czynniki stosowane w zaawansowanych interpretacjach paleolimnologicznych.

Omówione powyższe prace wskazały bardzo duże znaczenie gradientu pH w kształtowaniu się składu stabilnych izotopów materii organicznej makrofitów w jeziorach lobeliowych, co postanowiono przetestować również w warunkach eksperymentalnych (Pronin, E., Merdalski, M., Ronowski, R., Banaś, K., 2025a. Variation of carbon and nitrogen stable isotope composition in leaves and roots of *Littorella uniflora* (L.) Asch. in relation to water pH and nutrient availability. Aquat. Bot. 196, 103832). Przeprowadzono eksperyment w komorze wzrostu roślin na gatunku *Littorella uniflora* (Pronin i in. 2025a). Celem badań było określenie wpływu zakwaszenia i wzbogacenia w biogeny wody na izotopowy skład materii organicznej liści i korzeni gatunku, cechującego się fotosyntezą typu CAM, a także na jego cechy funkcjonalne (biomasa, długość liści, korzeni i stosunek biomasy liści do biomasy korzeni). **Postawiliśmy hipotezę, że odczyn pH wpływa na skład izotopowy węgla ($\delta^{13}\text{C}$) u roślin wodnych pobierających węgiel wyłącznie poprzez korzenie. Ponadto założono, że wzrost stężenia azotu i fosforu w wodzie zmieni skład izotopowy węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}$) u *Littorella uniflora*; oraz, że zróżnicowane warunki wzrostu wzdłuż gradientu trofii prowadzą do różnic w wartościach izotopowych węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}$) w liściach i korzeniach *L. uniflora*.** Wyniki eksperymentu przeprowadzonego na wysterylizowanym osadzie, złożonym z wyprażonego w 550°C piasku oraz w trzech wariantach pH wzdłuż gradientu troficznego (od 0 do 10 mg N/l^{-1} i od 0 do $0,3\text{ mg P/l}^{-1}$) wykazały, iż najbardziej optymalne warunki wzrostu stwierdzono w wariacie kwaśnego pH. Nie wykazano znaczącego wpływu gradientu żyzności na wzrost poszczególnych osobników *L. uniflora*. Najwyższe wartości składu stabilnych izotopów węgla ($\delta^{13}\text{C}$) odnotowano w wariacie kwaśnym eksperymentu a najniższe w wariacie zasadowym. Mogło to być związane z bardziej korzystnymi warunkami wzrostu *L. uniflora* w wariacie kwaśnym, co przełożyło się na bardziej efektywne korzystanie z dostępnego źródła węgla i wbudowywanie w struktury *L. uniflora* większej ilości cięższego izotopu ^{13}C . Ponadto, próba kontrolna, gdzie roślinność wzrastała na osadzie z jeziora, z którego osobniki *L. uniflora* zostały pobrane, wykazała najlepsze parametry wzrostu *L. uniflora* jednak niższe wartości $\delta^{13}\text{C}$, gdyż udział ^{12}C z materii organicznej w osadach mógł być bardziej dostępny niż w przypadku naszego eksperymentu, gdzie jedynie dodawano wodorowęglan sodu jako źródło węgla dla *L. uniflora*. Sugeruje to, że u tej rośliny, korzystającej z CO_2 z osadów dennych, bardzo duży wpływ na odpowiedni wzrost ma mikroflora osadów dennych oraz materia organiczna w nich zawarta (Pronin i in. 2025a). W przypadku przedstawianych wyników badań nie mogliśmy skorzystać z wystarczającej

ilości osadów dennych z miejsc poboru próby, gdyż Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Gdańsku wydała decyzję odmowną do wnioskowanego działania z uwagi na ryzyko zniszczenia siedliska chronionej i cennej rośliny jaką jest *L. uniflora*. Wartości $\delta^{15}\text{N}$ wykazywały niewielkie różnice między wariantami pH, jednak wzrastały wraz z rosnącym stężeniem biogenów, co odzwierciedlało intensyfikację procesów mineralizacji i przekształceń azotu w środowisku. Modelowanie bayesowskie (mieszany model izotopowy MixSIAR; Stock i in., 2018) wskazało, że największy udział w kształtowaniu sygnatur $\delta^{15}\text{N}$ miały depozycja atmosferyczna azotu i azot z osadów dennych. Natomiast w kształtowaniu $\delta^{15}\text{N}_{\text{ORG}}$ *L. uniflora* udział azotu nieorganicznego w wodzie był niewielki, głównie z uwagi na to, iż we wszystkich wariantach eksperymentu użyto tej samej substancji chemicznej $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}]$ jako jego źródła. Uzyskane wyniki potwierdzają, że *L. uniflora* wykazuje wyraźną izotopową odpowiedź na zmiany pH i dostępności biogenów, co odzwierciedla jej wyspecjalizowane mechanizmy adaptacyjne do warunków kwaśnych i oligotroficznych. Praca wnosi istotny wkład w poznanie procesów kształtujących sygnatury izotopowe izoetydów oraz stanowi podstawę do zastosowania analiz izotopowych jako wskaźnika kondycji siedlisk i presji antropogenicznej w ekosystemach jeziornych.

Podsumowując, przeprowadzone badania nad składem stabilnych izotopów węgla i azotu roślinności oraz osadów jezior lobeliowych po raz pierwszy kompleksowo ukazały, jak silnie gradient pH, dostępność węgla nieorganicznego i mechanizmy fotosyntezy (C3, CAM, CCM) wpływają na sygnaturę izotopową makrofitów. Wykazano wyraźne różnice między grupami ekologicznymi oraz istotne powiązanie $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ roślin z $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$ osadów, co potwierdza, że zdeponowana w nich materia organiczna pochodzi głównie z rozkładających się makrofitów. Wyniki te mogą stanowić bezpośrednie zastosowanie w interpretacjach paleolimnologicznych i rekonstrukcji historycznych zmian roślinności jezior lobeliowych opartych na analizach stabilnych izotopów węgla i azotu zdeponowanej materii organicznej. Dodatkowo eksperyment na *L. uniflora* potwierdził kluczową rolę kwaśnego pH i właściwości osadów (w tym znaczną rolę mikroorganizmów w próbce kontrolnej) w kształtowaniu sygnału izotopowego i wzrostu izoetydów. Całość tworzy spójny zestaw danych o wysokim potencjale wykorzystania zarówno przez innych badaczy ekosystemów oligotroficznych, jak i w przyszłych analizach dotyczących funkcjonowania, degradacji i historii jezior lobeliowych.

Bibliografia

Douglas, P.M.J., Stratigopoulos, E., Park, S., Keenan, B., 2022. Spatial differentiation of sediment organic matter isotopic composition and inferred sources in a temperate forest lake catchment. *Chem. Geol.* 603, 120887. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.120887>

Duan, L., Zhang, H., Chang, F., Li, D., Liu, Q., Zhang, X., Liu, F., Zhang, Y., 2022. Isotopic constraints on sources of organic matter in surface sediments from two north–south oriented lakes of the Yunnan Plateau, Southwest China. *J. Soils Sediments* 1597–1608. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03191-2>

Guo, Q., Wang, C., Wei, R., Zhu, G., Cui, M., Okolic, C.P., 2020. Qualitative and quantitative analysis of source for organic carbon and nitrogen in sediments of rivers and lakes based on stable isotopes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 195, 110436. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110436>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024a. Lobelia Lakes' Vegetation and Its Photosynthesis Pathways Concerning Water Parameters and the Stable Carbon Isotopic Composition of Plants' Organic Matter. *Plants* 13, 2529. <https://doi.org/10.3390/plants13172529>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2024b. Characteristics of Stable Carbon and Nitrogen Isotopes in Different Ecological Plant Groups and Sediments Collected from 14 Softwater Lakes in Poland. *Water (Switzerland)* 16, 3403. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w16233403>

Pronin, E., Banaś, K., Chmara, R., Ronowski, R., Merdalski, M., Santoni, A.-L., Mathieu, O., 2023. Do stable carbon and nitrogen isotope values of *Nitella flexilis* differ between softwater and hardwater lakes? *Aquat. Sci.* 85, 79. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00976-6>

Pronin, E., Merdalski, M., Ronowski, R., Banaś, K., 2025a. Variation of carbon and nitrogen stable isotope composition in leaves and roots of *Littorella uniflora* (L.) Asch. in relation to water pH and nutrient availability. *Aquat. Bot.* 196, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2024.103832>

Pronin, E., Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025b. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 100650. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100650>

Ronowski, R.P., Banaś, K., Merdalski, M., Szmeja, J., 2020. Plant replacement trend in soft-water lakes with isoetids. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 49, 157–167. <https://doi.org/10.1515/ohs-2020-0015>

Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T, Roelofs, J.G.M., 2002. The isoetid environment: biogeochemistry and threats. *Aquat. Bot.* 73, 325–350. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00029-3).

Stock, B.C., Jackson, A.L., Ward, E.J., Parnell, A.C., Phillips, D.L., Semmens, B.X., 2018. Analyzing mixing systems using a new generation of Bayesian tracer mixing models. *PeerJ* 2018, 1–27. <https://doi.org/10.7717/peerj.5096>

Zhang, J., Quay, P.D., Wilbur, D.O., 1995. Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO₂. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 107–114. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)91550-D](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)91550-D)

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Moja aktywność naukowa, realizowana poza jednostką, w której obecnie jestem zatrudniony, wynikała z potrzeby ciągłego rozwoju i poszerzania warsztatu badawczego oraz zaangażowania w projekty naukowe. Już w 2014 roku, na etapie realizacji studiów doktoranckich na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, nawiązałem współpracę z dr Kaire Torn z Instytutu Morskiego w Tallinie, będącego jednostką Uniwersytetu w Tartu (Estonia). W jej ramach odbyłem miesięczny staż naukowy (Załącznik 7 poz. 1), w czasie którego zapoznałem się z metodyką badań związanych z roślinnością różnych grup roślinności wodnej charakterystycznej dla środowisk brakicznych: krasnorostów, brunatnic, makroskopowych glonów (ramienic) oraz roślin kwiatowych. Uczestniczyłem także w pracach monitoringowych populacji krasnorostu *Furcellaria lumbricalis* (Hudson) J.V.Lamouroux w Morzu Bałtyckim, w rejonie zatok przylegających do wysp Sarema i Hiiuma. W trakcie badań zebrałem materiał biologiczny oraz próbki wody do późniejszych analiz izotopowych (tj. *Stuckenia pectinata* (L.) Börner, próbki wody do analizy $\delta^{13}\text{C}$ rozpuszczonego węgla nieorganicznego w wodzie oraz $\delta^{18}\text{O}$ w wodzie). Na realizację analiz w zaprojektowanych badaniach uzyskałem dofinansowanie w ramach międzynarodowego programu ExpeER – Experimentation in Ecosystem Research (7. Program Ramowy UE, grant nr 262060), dzięki czemu w marcu–kwietniu 2015 roku zrealizowałem miesięczny staż w Laboratorium Biogeochemicznym BIOEMCO (AgroParisTech, INRA ECOSYS, Załącznik 7 poz. 2) w Thiverval-Grignon we Francji. Staż odbywał się pod kierunkiem dr Corneli Rumpel. W trakcie pobytu nawiązałem również współpracę z dr Marco Panettieri, który w tym czasie odbywał staż podoktorski w tym samym laboratorium i zajmował się kalibracją metody analizy składu stabilnych izotopów węgla w monofenolach ligniny z materii organicznej w różnych typach gleb. Dzięki tej współpracy możliwe było rozszerzenie analiz projektu o badania składu izotopowego monofenoli wyekstrahowanych z materii organicznej *Stuckenia pectinata*. Współpraca z dr Marco Panettieri oraz dr Cornelią Rumpel i dr Kaire Torn zaowocowała także wspólną publikacją, która stanowi pozycję nr 1 w cyklu zgłoszonym jako osiągnięcie naukowe I w rozdziale 4.1.

Kolejnym etapem aktywności naukowej poza jednostką macierzystą był staż podoktorski oraz udział jako wykonawca w międzynarodowym projekcie REPET – REstoration and prognosis of PEAT formation in fens – linking diversity in plant functional traits to soil, realizowanym w latach 2017–2019 (VII–XI.2019 – Załącznik 7 poz. 3). Staż ten realizowałem w Zakładzie Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska Instytutu Botaniki Wydziału Biologii Uniwersytetu Warszawskiego (obecnie: Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska, Instytut Biologii Środowiskowej). Moim bezpośrednim przełożonym był kierownik projektu, prof. UW

dr hab. Wiktor Kotowski. W czasie realizacji projektu brałem udział w pracach terenowych i badaniach w Polsce, Niemczech i Rumunii, które obejmowały zarówno monitoring roślinności oraz gleb torfowiskowych, jak i eksperymenty mezokosmowe (donicowe), z użyciem turzyc pochodzących z różnych stanowisk w Europie. Moje główne zainteresowania dotyczyły charakterystyki materii organicznej torfowisk niskich oraz torfotwórczej roślinności przy wykorzystaniu spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera – FTIR (*ang.* Fourier Transformed Infrared Spectroscopy). Wspólnie z kierowanym przez prof. UW dr hab. Wiktora Kotowskiego zespołem prowadziłem badania na torfowiskach Biebrzańskiego Parku Narodowego, w Dolinie Rospudy, na wybranych stanowiskach na Warmii i Mazurach, a także na torfowiskach zdominowanych przez trzcinę pospolitą (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) w Rumunii, w pobliżu jeziora Razim w okolicy miejscowości Enisala, we współpracy z Instytutem Deltą Dunaju w Tulczy (dr Jenica Hanganu i mgr Sylviu Covaliov). Brałem również udział w przygotowaniu eksperymentu mezokosmowego gdzie materiałem użytym w eksperymencie były turzyce pobrane z naturalnych stanowisk w północno-wschodniej Polsce, co stanowiło komponent porównawczy względem zbiorów dokonanych przez partnerów z Niemiec (m.in. dr Tjorven Hinzke, dr Franziska Tanneberger, dr Elke Seeber, prof. Juergen Kreyling, prof. Klaus-Holger Knorr, prof. Wendelin Wichtmann) oraz Belgii (mgr Camiel Aggenbach). Uczestniczyłem zarówno w etapie pozyskiwania całych roślin z nienaruszonym systemem korzeniowym, jak i w pracach końcowych eksperymentu, obejmujących pomiary cech funkcjonalnych. Ponadto uczestniczyłem w warsztatach projektowych organizowanych na Uniwersytecie w Antwerpii przez prof. Rudy Van Diggelen oraz w formie zdalnej (Zoom, Google Meet, MS Teams organizowanych cyklicznie przez partnerów z projektu m.in. Uniwersytet w Greifswaldzie lub Uniwersytet w Antwerpii).

W 2019 roku, pod koniec mojego udziału w projekcie REPET, aplikowałem na stanowisko stażysty podoktorskiego w Katedrze Eksperymentalnej Biologii Roślin Uniwersytetu Południowej Bohemii w Czeskich Budziejowicach. Na zaproszenie kierownika Katedry, dr Tomáša Hájka, wygłosiłem referat pt. „Stable isotopes in aquatic world” na seminarium katedralnym (Załącznik 7 poz. 4), zapoznając się równocześnie z infrastrukturą badawczą i kierunkami prowadzonych badań. Ostatecznie zrezygnowałem z kontynuowania rekrutacji, informując dr Tomáša Hájka o pozytywnie rozpatrzonym wniosku grantowym Sonatina 3, który był moim priorytetem.

W ramach kierowanego przeze mnie grantu Sonatina 3 „Zróżnicowanie składu stabilnych izotopów węgla i azotu roślinności, wody i osadów wzdłuż gradientu zakwaszenia jezior lobeliowych” nr 2019/32/C/NZ8/00147 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w

Krakowie (Załącznik 7 poz. 5), zrealizowałem obowiązkowy staż zagraniczny w laboratorium GISMO (Geochemistry and ISotopic MethODs) działającym w jednostce Biogéosciences (UMR CNRS 6282) Uniwersytetu Burgundzkiego Franche-Comté w Dijon we Francji (Załącznik 7 poz. 6). Wybór tego ośrodka podyktowany był jego renomą oraz rekomendacją dr Marco Panettieriego. Dzięki tej sieci kontaktów nawiązałem współpracę z dr Olivierem Mathieu, odpowiedzialnym za analizy izotopowe węgla i azotu w materii organicznej roślin, gleb i osadów. Po uzyskaniu zgody instytucji goszczącej, odbyłem dwuczęściowy, sześciomiesięczny staż (05–08.2021 oraz 04–07.2022), rozłożony na dwa okresy z przyczyn pandemicznych i osobistych. W trakcie pobytu aktywnie uczestniczyłem w pracach zespołu GISMO: przygotowywałem próbki do analizy (suszenie, mielenie w młynie kulowym, rozdrabnianie moździerzem agatowym, pozbywanie się za pomocą kwasu solnego przeszkadzającego w prawidłowych analizach izotopowych CaCO_3 , przygotowanie naważek), nadzorowałem analizy wykonywane przez technika i uczestniczyłem w interpretacji wyników. Laboratorium zapewniło mi pełne wsparcie techniczne, analityczne i administracyjne. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane m.in. podczas konferencji European Geosciences Union (EGU) 2022 r. w Wiedniu, 36 Kongresu Międzynarodowego Towarzystwa Limnologicznego (International Society of Limnology – SIL 100) w Berlinie (2022 r.), 13th Symposium for European Freshwater Sciences (SEFS13) w Newcastle upon Tyne w Wielkiej Brytanii (2023r.) oraz licznych konferencji krajowych (XXV Zjazd Hydrobiologów Polskich w 2022r. w Łodzi, IV Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej: „Funkcjonowanie i ochrona wód płynących” – Potamon 2023 w Łukęcinie, II Krajowej konferencji Ekobiotox 2024 w Łodzi, Pakt dla Mokradeł 2023 w Warszawie, i II edycja w 2025 w Poznaniu, XXVI Zjazd Hydrobiologów Polskich w 2025 r. w Szczecinie i Międzyzdrojach – Załącznik 8, 1. poz. 1-14). Wyniki uzyskane w ramach aktywności na stażu i realizacji projektów (Sonatina 3 oraz UGrants-start finansowanych z środków Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza - IDUB na Uniwersytecie Gdańskim, Załącznik 7 poz. 7) naukowych związanych z analizą izotopową materii organicznej roślinności wodnej były również prezentowane przez moją obecną magistrantkę a wcześniej licencjuszkę, Panią Zofię Wrosz na kilku konferencjach krajowych (XXVI Zjazd Hydrobiologów Polskich w 2025 r., V Kongres Młodej Nauki w Gdańsku w 2025 r. II Pakt dla mokradeł w Poznaniu w 2025 r., Ogólnopolska Studencka Konferencja Badań Podwodnych (HYDROCON) w Obrzycku w 2025 r., Innowacje w Inżynierii Ekologicznej w Białymstoku w 2024 r., Potamon w Łukęcinie w 2023 r., VIII Ogólnopolska Konferencja Hydrologiczna z Okazji Światowego Dnia Wody w Poznaniu w 2024 r. Załącznik 8, 1. poz. 15-21). Siedem z ośmiu publikacji wchodzących w skład cyklu zgłoszonego jako osiągnięcia

naukowe w rozdziale 4.1 powstało na podstawie badań przeprowadzonych w laboratorium GISMO (Załącznik 8, 1. poz. 22-28). Staż ten w sposób istotny przyczynił się do dalszego rozwoju moich kompetencji w zakresie analizy izotopowej materii organicznej oraz ugruntował moją współpracę z ośrodkiem Biogéosciences w Dijon we Francji.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Osiągnięcia dydaktyczne

Zajęcia dydaktyczne prowadziłem w dwóch okresach mojej kariery naukowej. Pierwszy z nich przypadał na lata 2011–2015, kiedy uczestniczyłem w Środowiskowych Studiach Doktoranckich w Zakresie Nauk o Środowisku Przyrodniczym na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Przedmioty w ramach których prowadziłem lub współprowadziłem zajęcia dydaktyczne to m.in. Hydrosfera – ćwiczenia laboratoryjne – I rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Monitoring środowiska – ćwiczenia laboratoryjne – III rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Ekologia – ćwiczenia terenowe – I rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Struktura i dynamika populacji biocenoz – ćwiczenia laboratoryjne – III rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Hydrobotanika – ćwiczenia laboratoryjne – IV rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Metody badań ekologicznych – ćwiczenia laboratoryjne – III rok ochrona środowiska Wydział Biologii UAM, Ecosystem evaluation – bioindicators - IV rok ochrona środowiska – specjalność po angielsku, Wydział Biologii, UAM, Relationships Between Organisms in the Aquatic Environment - IV rok ochrona środowiska – specjalność po angielsku, Wydział Biologii, UAM.

Drugim okresem, w którym prowadziłem i współprowadziłem zajęcia dydaktyczne, jest czas przypadający na zatrudnienie na Wydziale Biologii UG w roli adiunkta badawczo-dydaktycznego tj. od 12.2022 do chwili obecnej. Zajęcia które prowadzę lub współprowadzę to wykłady: Ekologia roślin dla III roku Ochrony środowiska na Wydziale Chemii UG oraz II roku Ochrony zasobów przyrodniczych, Monitoring Środowiska dla III roku Ochrony środowiska i Ochrony zasobów przyrodniczych, Bioindykacja dla III roku Ochrony zasobów przyrodniczych. Jestem również zaangażowany w prowadzenie zajęć laboratoryjnych i terenowych: Biologia I stopień I rok: Różnorodność roślin zarodnikowych – ćwiczenia laboratoryjne (ćw. laboratoryjne WB – UG), Biologia I stopień II rok Ekologia ogólna (ćw. laboratoryjne i terenowe – WB – UG), Ochrona zasobów przyrodniczych I stopień, I rok –

Identyfikacja roślin zarodnikowych - ćwiczenia laboratoryjne (ćw. laboratoryjne WB - UG), Ochrona zasobów przyrodniczych I stopień, III rok i Biologia I stopień, III rok - Pracownia specjalnościowa (ćw. laboratoryjne WB - UG), Ochrona zasobów przyrodniczych I stopień, III rok i Biologia I stopień, III rok - Seminarium licencjackie (seminarium WB - UG), Ochrona Środowiska (WCH - UG) – II stopień, II rok - Pracownia magisterska (ćw. laboratoryjne), Ochrona zasobów przyrodniczych I stopień, III rok Bioindykacja (Wykład WB - UG), Biologia medyczna – I stopień, I rok – Technologie informacyjne (ćw. laboratoryjne WB - UG), Ochrona Środowiska (WCH) – II stopień, I rok - Fitoindykacja zbiorników wodnych (ćw. terenowe), Ochrona zasobów przyrodniczych I stopień, II rok Typologia i ochrona wód (ćw. terenowe). Współprowadzę również z pracownikami Katedry Ekologii Roślin blok zajęć dla studentów programu Erasmus w języku angielskim pt. Plant Ecology. Ponadto do chwili obecnej byłem promotorem jednej pracy magisterskiej i trzech prac licencjackich. Praca magisterska oraz jedna praca licencjacka dotyczyły tematyki związanej ze składem stabilnych izotopów w materii organicznej makrofitów, natomiast pozostałe dwie prace licencjackie poruszały tematykę związaną z przemianami roślinności wodnej w obrębie jezior lobeliowych oraz ramienicowych. Obecnie prowadzę cztery prace dyplomowe (trzy magisterskie i jedną licencjacką) poświęcone przemianom roślinności wodnej i szuwarowej w ujęciu florystycznym i fitosocjologicznym oraz analizie izotopowej związanej z fizjologią i wydajnością aparatu fotosyntetycznego roślin wodnych, jak również architektury osobniczej i cech funkcjonalnych roślin wodnych.

Swoje kompetencje dydaktyczne podnosiłem biorąc udział w (Załącznik 9):

- kursie dydaktycznym zorganizowanym przez Centrum Doskonalenia Dydaktycznego i Tutoringu Uniwersytetu Gdańskiego "Idea edukacji akademickiej" (2022);
- kursie dydaktycznym na platformie Navoica: Wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w pracy nauczyciela (2022),
- szkoleniach dydaktycznych „Twórczo i aktywizująco w pracy z tekstem naukowym – czyli jak wspierać studentów w lekturze treści trudnych (2022), Orientacja na proces i wynik w ocenianiu pracy studentów – pomiędzy ocenianiem wspierającym rozwój a kontrolą (2022),
- kursach na platformie Navoica podnoszącymi i utrwalającymi wiedzę przydatną do prowadzenia zajęć dydaktycznych tj. Czytanie rzeźby terenu (2021), Naturalne i

antropogeniczne czynniki sprzyjające eutrofizacji jezior (2021), Jakość wód powierzchniowych i jej ocena metodą bioindykacji (2021)

Działalność organizacyjna

Moja działalność organizacyjna w okresie studiów doktoranckich polegała na pełnieniu funkcji członka Wydziałowej Komisji Ekonomicznej na Wydziale Biologii UAM w latach 2011-2014 (Załącznik 10 poz. 1). W tym okresie dołączyłem również do międzynarodowego towarzystwa ramienicowego – International Research Group of Charophytes, którego członkiem pozostaje od roku 2014 (Załącznik 10 poz. 2). Ponadto w 2019 roku dołączyłem jako członek do Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego i od 2023 roku jestem członkiem komisji rewizyjnej Poznańskiego Oddziału PTH. Od roku 2023 jestem również członkiem Polskiego Towarzystwa Botanicznego (Załącznik 10 poz. 3).

Aktywnie uczestniczę w procesach recenzji artykułów naukowych dla szerokiego grona czasopism naukowych i ich wydawców. Wykonałem 53 recenzje dla Science of the Total Environment, 26 dla Ecological Indicators, 2 dla Food Chemistry, 1 dla Forest Ecology and Management, 2 dla Heliyon, 2 dla Journal of Hazardous Materials, 1 dla Journal of Sea Research, 1 dla Limnologica, 1 dla Marine Environmental Research, 2 dla Marine Pollution Bulletin, 1 dla Sustainable Horizons, 9 dla Water, 6 dla Plants, 2 dla Limnological Review, 3 dla Land, 1 dla Hydrobiology, 4 dla Forests, 1 dla Data, 2 dla Microorganisms, 3 dla Journal of Marine Science and Engineering, 1 dla Ecologies, 1 dla International Journal of Environmental Research and Public Health, 1 dla New Phytologist, 2 dla Oikos, 2 dla Freshwater Biology, 1 dla Plant and Soil, 2 dla Plos One, 1 dla Science China Earth Sciences, 2 dla Open Life Sciences, 3 dla Inland Water, 2 dla Journal of Phycology, 1 dla Acta geographica Slovenica, 1 dla Ecology and Evolution, 1 dla Scientific Reports, 2 dla Aquatic Ecology (Załącznik 10 poz. 4). Uczestniczyłem również w procesach recenzyjnych 5 projektów grantowych dla Czeskiej Fundacji Naukowej (Załącznik 10 poz. 5).

Działalność w zakresie popularyzacji nauki

Moja działalność w zakresie upowszechniania wyników badań dotyczących ekologii roślinności wodnej oraz zastosowania stabilnych izotopów w badaniach środowiskowych ma charakter wieloaspektowy i rozwija się równolegle do działalności naukowej i dydaktycznej. Od 2021 roku prowadzę autorski blog popularnonaukowy poświęcony zagadnieniom związanym z moimi zainteresowaniami badawczymi, dostępny pod adresem: <https://hydro->

zgredek.blog/. Na blogu opublikowałem do tej pory 14 wpisów (obejmujących lata 2021–2025, Załącznik 10 poz. 6), w których przedstawiam zagadnienia związane ze składem stabilnych izotopów, metodami ich analizy oraz innymi technikami badawczymi stosowanymi w mojej pracy naukowej. Publikacje te często nawiązują do wyników badań zrealizowanych zarówno w okresie pracy doktorskiej, jak i w kolejnych latach, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. W dalszych planach rozwoju bloga zakładam szersze upowszechnienie wyników badań realizowanych w ramach projektu Sonatina 3, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. W roku 2024 dołączyłem również do grona autorów bloga popularyzującego naukę i zagadnienia związane z wodą tj. do autorów bloga „Świat Wody” gdzie napisałem jeden tekst o tematyce izotopowej oraz jeden tekst dotyczący zagadnień związanych z monitoringiem ekosystemów wodnych (Załącznik 10 poz. 7).

Od 2024 roku rozszerzyłem działalność popularyzatorską o aktywność na platformach społecznościowych. Aktualizacje dotyczące nowych publikacji, wyników badań oraz informacji o wydarzeniach naukowych udostępniam na stronie bloga Hydro Zgredek na Facebooku, koncie @hydro.zgredek na Instagramie oraz na osobistym profilu na platformie LinkedIn. Komunikaty te mają formę krótkich, popularnonaukowych streszczeń najważniejszych osiągnięć danej pracy naukowej.

Ponadto od 2023 roku aktywnie uczestniczę w corocznej edycji Nocy Biologów organizowanej na Wydziale Biologii Uniwersytetu Gdańskiego. W ramach tego wydarzenia wygłosiłem wykłady popularnonaukowe skierowane do szerokiego grona odbiorców, w tym młodzieży szkolnej i osób dorosłych: Makrofity mają moc! (2023), Znaczenie jeziornych ekosystemów wodnych: odkrywanie świata od mikroskopijnych glonów do wodnych roślin naczyniowych (2024) oraz Znaczenie zmian klimatycznych dla jeziornych ekosystemów wodnych: wpływ temperatury na różnorodność biologiczną jezior (2025) oraz Odkoduj wodę! Sygnał izotopowy makrofitów jako mapa zmian w środowisku (2026). Celem moich wystąpień jest popularyzowanie wiedzy o funkcjonowaniu ekosystemów wodnych, różnorodności biologicznej oraz wpływie zmian środowiskowych na ich dynamikę.

7. Inne informacje dotyczące kariery naukowej

Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych

- **aktywność naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora**

Jak wynika z przedstawionej historii związanej z działalnością naukową rozpoczęła się ona na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Gdzie na etapie

przygotowania pierwszej pracy magisterskiej, komunikowałem mojemu promotorowi prof. dr hab. Mariuszowi Pełechatemu, iż zamierzam wiązać swoją przyszłość z rozwojem naukowym. Pierwsze swoje doświadczenie naukowe zdobyłem podczas realizacji pracy magisterskiej związanej z przemianami roślinności wodnej i szuwarowej Jeziora Długie – zlokalizowanego około 1 km od mojego domu rodzinnego w Rzepinie w województwie lubuskim. To doświadczenie, a zwłaszcza praca terenowa, wzbudziło moje ogromne zainteresowanie tematem roślinności wodnej i szuwarowej, który realizuje w kolejnych badaniach naukowych. W pracy magisterskiej wykorzystano metodę transektu do kartowania roślinności, której dokonano w ujęciu fitosocjologicznym aby przede wszystkim spróbować określić strukturę przestrzenną roślinności wodnej i szuwarowej Jeziora Długiego w Rzepinie oraz dokonać próby oceny zmiany składu gatunkowego i struktury zbiorowisk roślinnych w stosunku do badań poprzednich, prowadzonych przez prof. dr hab. Mariusza Pełechatego oraz Ś.P. Prof. UAM dr hab. Andrzeja Pukacza w roku 2003. Wymiernym efektem realizacji wspomnianej pracy magisterskiej było zaprezentowanie wyników na studenckiej międzynarodowej konferencji: The International Students Scientific Conference Space management in the environmental, social and legal aspect w Słubicach w Polsce w dniach 20-22.05.2010 r., poprzez wygłoszenie autorskiego referatu pt: „The current use and biological differentiated of Długie Lake”. Ponadto, po wspomnianej konferencji ukazała się monografia w języku polskim, gdzie opublikowałem rozdział pod tytułem. Aktualne wykorzystanie a zróżnicowanie biologiczne Jeziora Długiego (szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w Załączniku 4; II poz. 2;1). Kolejnym efektem działań związanych z powstałą pracą magisterską pt.: „Zmienność roślinności wodnej i szuwarowej kąpieliskowego Jeziora Długie na tle stanu jego trofii”, obronioną w październiku 2010 roku było przygotowanie i opublikowanie w 2011 roku artykułu napisanego na jej podstawie w czasopiśmie naukowym Ekologia i Technika, tytuł artykułu brzmi: „Kierunki zmian sukcesyjnych składu fitocenotycznego i struktury roślinności wodnej i szuwarowej w Jeziorze Długim (Ziemia Lubuska)” (szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w Załączniku 4; II poz. 8;1). Warto również wspomnieć, iż umiejętności związane z opracowaniem danych fitocenotycznych zbiorowisk roślinności wodnej zostały wykorzystane do uporządkowania bazy danych oraz późniejszych analiz zgromadzonych przez Prof. dr hab. Mariusza Pełechatego oraz Prof. UAM dr hab. Andrzeja Pukacza danych związanych z występowaniem gatunków ramienic w zbiorowiskach zdominowanych przez trzcinę pospolitą, co zaowocowało wspólnym przygotowaniem w 2010 roku posteru na międzynarodową konferencję I (VII) International conference on aquatic macrophytes Hydrobotany, Borok, Yaroslavl, Rosja. Tytuł wystąpienia posterowego brzmiał: Factors governing the charophyte

(Characeae) occurrence in reed stands (*Phragmitetum communis*) in chosen Polish lakes. Dodatkowo rozbudowany abstrakt związany z tym posterem został opublikowany w pokonferencyjnej monografii (szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w (Załączniku 4; II poz. 2;2). Wracając do pracy magisterskiej warto wspomnieć, iż z uwagi na to, że do charakterystyki trofii Jeziora Długiego używałem wyników badań chemicznych, w których nie brałem udziału (zostały one zlecone w Laboratorium Hydrogeochemicznym w Instytucie Geologii na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza) oraz z chęci rozwoju postanowiłem rozpocząć drugą specjalność na kierunku Ochrona Środowiska o specjalności Chemia Środowiska.

Realizując drugą pracę magisterską pt.: „Warunki tlenowe w Jeziorze Góreckim w Wielkopolskim Parku Narodowym” nabyłem umiejętności przygotowania próbek wody do analiz fizyczno-chemicznych oraz chemicznych, które w znacznej części przeprowadziłem samodzielnie w ówczesnym Zakładzie Analizy Wód i Gruntów, Wydziału Chemii UAM (zakład ten w późniejszym okresie był Pracownią Analizy Wód i Gruntów, a w 2019 roku przekształcono go w Zakład Analityki Chemicznej i Środowiskowej na Wydziale Chemii UAM). Poza nabytymi umiejętnościami zarówno w sezonowych pomiarach podstawowych parametrów fizyczno-chemicznych wody w pracy terenowej jak i analiz chemicznych w pracy laboratoryjnej wymiernym efektem prowadzonych badań było wykorzystanie uzyskanych wyników wraz z wynikami innych badań oraz obliczeń prowadzonych przez prof. UAM dr hab. Tadeusza Sobczyńskiego i Prof. UAM dr hab. Tomasza Joniaka do artykułu naukowego. Wspomniany artykuł ukazał się w 2012 roku w czasopiśmie Polish Journal of Environmental Studies (szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w Załączniku 4; II poz. 8;2). Ponadto w 2012 roku, podczas realizacji pierwszego roku Środowiskowych Stódiów Doktoranckich w Zakresie Nauk o Środowisku Przyrodniczym na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, wyniki z omawianej pracy magisterskiej oraz wstępnej, przesłanej do recenzji wersji wspomnianego wyżej manuskryptu artykułu naukowego zostały przeze mnie zaprezentowane na I Konferencji Młodych Naukowców z Okazji Światowego Dnia Wody. Tytuł wystąpienia brzmiał: “Study on the efficiency of artificial aeration of Lake Góreckie (vegetation season of 2010)” (szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w Załączniku 4; II poz. 2;3).

W okresie 2011 do 2015 w trakcie realizacji Studiów Doktoranckich w Zakresie Nauk o Środowisku Przyrodniczym na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu pogłębiałem tematykę związaną z zależnościami fitocenotycznymi i siedliskowymi roślinności wodnej, w szczególności makroskopowych glonów z grupy ramienic. Zacząłem

również zgłębiać tematykę związaną ze składem stabilnych izotopów węgla i tlenu w węglanowych inkrustacjach ramienic, co stanowiło roboczą koncepcję mojej przyszłej rozprawy doktorskiej realizowanej pod opieką prof. dr hab. Mariusza Pełechatego i prof. dr hab. Kariny Apolinarskiej jako promotor pomocniczej (w tamtym czasie dr K. Apolinarskiej). W obszarze badań związanych z zależnościami fitocenotycznymi między makrofitami zanurzonymi a ramienicami kontynuowałem zagadnienia podejmowane podczas realizacji pierwszej pracy magisterskiej. Wraz z prof. Pełechatym oraz dr hab. Andrzejem Pukaczem postanowiliśmy przeanalizować, będące w ich posiadaniu, zdjęcia fitosocjologiczne oraz wyniki posiadanych parametrów fizyczno-chemicznych z miejsc poboru z płatów z gatunkiem *Ceratophyllum demersum* L. w kontekście notowanego współwystępowania z bardziej wrażliwymi na wzrost warunków trofii ramienicami. Wyniki tych analiz zostały zaprezentowane na międzynarodowej konferencji: International Symposium on Aquatic Plants “Plants in hydrosystems: from functional ecology to weed research combined EWRS & SIL Aquatic Plant Conference, referat zatytułowany” „Charophyte occurrence in *Ceratophyllum demersum* stands” którego ja i dr hab. A. Pukacz byliśmy współautorami wygłosił prof. M. Pełechaty (Załączniku 4; II poz. 2;4). Praca nad danymi prezentowanymi na konferencji od początku miała zostać opublikowana i korzystając z okazji specjalnego numeru czasopisma Hydrobiologia, do którego zapraszano podczas konferencji tam też została złożona i opublikowana (online first w 2013r a finalnie w 2014 r. szczegóły bibliograficzne pracy znajdują się w Załączniku 4; II poz. 8;3).

W międzyczasie zdobywałem i pogłębiałem swoją wiedzę na temat składu stabilnych izotopów węgla i tlenu inkrustacji węglanowych ramienic oraz przeprowadziłem wraz z dr hab. A. Pukaczem intensywne badania terenowe, gdzie pobrałem materiał związany z realizowaną pracą doktorską oraz z innymi projektami prowadzonymi przez dr hab. A. Pukacza oraz prof. K. Apolinarską. Ponadto w grudniu 2011 złożyłem wniosek do Narodowego Centrum Nauki w Krakowie na szeroko zakrojone badania związane z tematyką pracy doktorskiej (niestety wniosek w konkursie Preludium nie został rekomendowany do finansowania – ani w pierwszej ani w kolejnych trzech edycjach konkursu). Na podstawie pobranego materiału z 7 jezior zachodniej Polski ogółem z 30 stanowisk przygotowałem poster naukowy omawiający problematykę podjętych badań i założenia planowanej rozprawy doktorskiej, który w 2013 roku został przeze mnie zaprezentowany na międzynarodowej konferencji młodych naukowców Fresh Blood for Fresh Water, Young Aquatic Science, Lunz am See (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;5). Po otrzymaniu wyników analiz izotopowych pobranego w 2012 roku materiału ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ inkrustacji dwóch gatunków ramienic tj.

Chara tomentosa L. i *C. globularis*, oraz $\delta^{13}\text{C}$ DIC i $\delta^{18}\text{O}$ w wodzie pelagicznej i z otoczenia ramienic) zostały one włączone do porównań z wynikami uzyskanymi przez zespół prof. M. Pelechatego w ramach poprzednich badań i zaprezentowany przez prof. M. Pelechatego na międzynarodowej izotopowej konferencji The 10th Applied Isotope Geochemistry Conference w Budapeszcie, w której również brałem udział (szczegóły bibliograficzne wystąpienia oraz kilkustronicowego abstraktu opublikowanego w materiałach pokonferencyjnych stanowią odpowiednio Załącznik 4; II poz. 2;7).

Dalsze opracowania uzyskanych wyników badań izotopowych dwóch morfologicznie różnych gatunków ramienic z 7 jezior zachodniej Polski były przeze mnie prezentowane na konferencjach krajowych tj. III i IV Konferencji Młodych Naukowców z okazji Światowego Dnia Wody (2014 i 2015, Załącznik 4; II poz. 2;8 i 12), VIII Międzydyscyplinarnej Konferencji Doktorantów Uniwersytetu Szczecińskiego (2015, Załącznik 4; II poz. 2;17) zagranicznych tj.: 19th and 20th Meeting of the Group of European Charophytologists (odpowiednio w Wilnie na Litwie i Genewie w Szwajcarii, gdzie wygłosiłem referaty, Załącznik 4; II poz. 2;9 i 15) oraz Fresh Blood for Fresh Water FBFW Meeting (2015 Mondsee, Austria – poster, Załącznik 4; II poz. 2;13) oraz 9th Symposium for European Freshwater Sciences (SEFS9, 2015, Genewa, Szwajcaria, Załącznik 4; II poz. 2;16). W końcowym okresie trwania studiów doktoranckich poza przygotowywaniem rozprawy doktorskiej w formie monografii o tytule „Skład stabilnych izotopów $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w inkrustacjach węglanowych ramienic (*Characeae*) jako wskaźnik warunków środowiska jeziornego” byłem zaangażowany w pomoc w realizację jednego zadania w ramach realizowanego przez moją promotora pomocnicza prof. K. Apolinarską projektu: Iuventus Plus IP 2010 000670 – Skład izotopowy ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$) muszli mięczaków słodkowodnych jako wskaźnik warunków klimatycznych i ekologicznych. Moim głównym zadaniem w jednej z publikacji w ramach tego projektu było pozbycie się węglanu wapnia ze sproszkowanego materiału roślinnego i ponowne jego zhomogenizowanie po wysuszeniu i przygotowanie go do wysyłki do analiz izotopowych węgla w tak przygotowanej materii organicznej. Jednocześnie poprzez to działanie wdrożyłem ten element analiz izotopowych do przygotowywanej rozprawy doktorskiej dodając w niej wątek poświęcony analizie stabilnych izotopów węgla w całościowej materii organicznej ramienic. Efektem współpracy realizacji tego zadania w ramach współpracy z promotorami pracy doktorskiej był udział w publikacji na temat rozbieżności w składzie izotopowym różnych komponentów środowiska tj. węglanów ramienic, mięczaków oraz materii organicznej ramienic i innych roślin wodnych (szczegóły bibliograficzne pracy Załącznik 4; II poz. 8;4). Stwierdzone rozbieżności izotopowe węgla materii organicznej i inkrustacji węglanowej uwzględnionych w pracy gatunków ramienic

przyczyniły się do rozwinięcia tego wątku i przyjrzenia mu się bliżej poprzez bardziej szczegółową analizę dwóch morfologicznie różnych gatunków ramienic badanych w ramach realizowanej przeze mnie pracy doktorskiej. Wyniki tych analiz zostały zaprezentowane w formie posteru na międzynarodowej konferencji (szczegóły bibliograficzne pracy Załącznik 4; II poz. 2;16) oraz opublikowane w czasopiśmie *Hydrobiologia* na kilka dni przed obroną pracy doktorskiej (szczegóły bibliograficzne pracy Załącznik 4; II poz. 8;6). Ta bardziej szczegółowa analiza dwóch gatunków ramienic z kilku jezior z obszaru Pojezierza Lubuskiego wykazała powtarzalne trendy związane z zróżnicowanymi wartościami $\delta^{13}\text{C}$ węglanów i materii organicznej tkanek ramienic, zwłaszcza w trzech jeziorach, w których te gatunki współwystępowały. Wartości $\delta^{13}\text{C}$ zarówno inkrustacji jak i materii organicznej *C. globularis* były znacznie niższe niż te notowane dla *C. tomentosa* co mogło być związane z morfologią tych gatunków wpływającą na odmienne strategie pobierania jak i samą dostępność form węgla do procesu fotosyntezy. Bardziej gęste zbiorowiska tworzone przez mniejszy gatunek *C. globularis* mógł przyczynić się do intensywniejszego kontaktu z wodą nadosdową wzbogaconą w ^{12}C oraz większą dostępność ^{12}C z zmineralizowanej na miejscu materii organicznej w odróżnieniu od dłuższego, mającego większy kontakt z bardziej wymieszaną wodą gatunku *C. tomentosa*.

Poza aktywnością związaną ściśle z realizowaną pracą doktorską kontynuowałem poszerzenie i ugruntowanie wiedzy z zakresu fitosocjologii zbiorowisk roślinnych i ekologii roślin. W roku 2012 powtórzyłem (już samodzielnie) badania roślinności wodnej i szuwarowej Jeziora Długiego k. Rzepina (woj. lubuskie) badanego w ramach mojej pracy magisterskiej i zestawione wyniki zaprezentowałem w 2013 na II Konferencji Młodych Naukowców z okazji Światowego Dnia Wody prezentując referat pt.: „Changes of phytocenotic diversity and spatial structure of aquatic and rush vegetation in Długie Lake (Lubusz Land Western Poland)” (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;6). Ponadto, wraz z prof. M. Pełchatym przygotowaliśmy publikację przeglądową pt.: „Rola roślinności wodnej i szuwarowej w funkcjonowaniu jezior i ocenie stanu ich wód” opublikowaną w czasopiśmie *Studia Limnologica et Telmatologica* (szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 8;5), w której dyskutowaliśmy na temat cennych właściwościach środowiskotwórczych oraz bioindykacyjnych makrofitów i ich roli w ocenie stanu wód jeziornych.

W okresie studiów doktoranckich zaangażowałem się również w prace wówczas mojej koleżanki z roku na studiach doktoranckich a w późniejszym okresie żony Pani mgr Małgorzaty Pronin (z domu Wiśniewskiej) i jej promotor pracy doktorskiej prof. Natalii Kuczyńskiej-Kippen. Zagadnienia badawcze zespołu prof. N. Kuczyńskiej-Kippen dotyczą m.in. zgrupowań

zooplanktonowych drobnych zbiorników wodnych i wpływu makrofitów na ich występowanie i strategię życiową. Moje zainteresowanie roślinnością makrofitową było pomocne przy identyfikacji roślinności i interpretacji uzyskanych wyników. Pokłosiem tej współpracy było współautorstwo referatu wygłoszonego przez mgr Małgorzatę Pronin (wówczas Wiśniewską) na międzynarodowej konferencji poświęconej drobnym zbiornikom wodnym, która miała miejsce w Hiszpanii w 2014 roku (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;11).

- **aktywność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora**

Brak zatrudnienia w jednostce naukowej po zakończeniu stacjonarnych studiów doktoranckich (przedłużonych do 31.12.2015 w celu finalizacji rozprawy doktorskiej) nie wpłynął znacząco na moją aktywność naukową mimo, że w okresie od 03.2016 do 06.2017 pracowałem jako referent w Wydziale Monitoringu Środowiska Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Zielonej Górze. W tym okresie nadal utrzymywałem stały kontakt z prof. M. Pełechatym oraz prof. K. Apolinarską jak również z prof. UAM dr hab. Andrzejem Pukaczem, opracowując wyniki z pracy doktorskiej do przygotowywanego artykułu naukowego. Artykuł dotyczył zróżnicowania wyników składu stabilnych izotopów tlenu w inkrustacjach węglanowych dwóch morfologicznie różnych ramienic badanych w jeziorach zachodniej Polski w odniesieniu do parametrów fizykochemicznych wody i sygnału izotopowego wody znad badanych zbiorowisk ramienic oraz wody pelagicznej. Artykuł ukazał się w międzynarodowym czasopiśmie *Hydrobiologia* (Załącznik 4; II poz. 8;9), w momencie gdy byłem już ponownie zatrudniony w jednostce naukowej tj. odbywałem staż podoktorski na stanowisku adiunkta badawczego w międzynarodowym projekcie REPEAT na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego (szczegóły projektu znajdują się w rozdziale 5). W artykule opisano najważniejsze wyniki tej części mojej pracy doktorskiej, które wskazywały, iż w przypadku obu gatunków badanych ramienic wykazano podobny trend, gdzie inkrustacje węglanowe były wzbogacone w cięższy izotop tlenu. To wzbogacenie było bardziej regularne w przypadku gatunku *C. tomentosa* i wynosiło średnio 2‰ natomiast w przypadku *C. globularis* stwierdzone różnice między inkrustacjami a sygnałem izotopowym wody znad zbiorowisk było wyższe i wynosiło 3.2‰. Niemniej jednak zasadnicza stałość tych różnic wskazuje na znaczny potencjał do korzystania z zdeponowanych węglanów ramienicowych do wspierania interpretacji paleolimnologicznych. Podczas pracy w WIOŚ w Zielonej Górze byłem również zaangażowany w powstanie trzech posterów naukowych. Dwa z nich były związane z składem stabilnych izotopów węgla i azotu mięczaków słodkowodnych badanych przez moją promotorkę pomocniczą prof. K. Apolinarską zostały zaprezentowane na konferencji krajowej tj. XXIII Konferencja Naukowa Sekcji Paleontologicznej Polskiego Towarzystwa

Geologicznego w Poznaniu oraz międzynarodowej tj. The European Geosciences Union (EGU) General Assembly w Wiedniu (Załącznik 4; II poz. 2;18 i 20). Trzeci poster naukowy, w przygotowanie, którego byłem zaangażowany, koordynowany przez prof. dr hab. Natalię Kuczyńską-Kippen dotyczył zgrupowań zooplanktonu wśród roślinności wodnej i został zaprezentowany podczas IVth International Conference on Research and Education w Poznaniu (szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 2;19).

Dalsza moja działalność naukowa była związana z zagadnieniami realizowanymi w trakcie stażu podoktorskiego w projekcie REPEAT w Instytucie Botaniki na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego. Po kilku miesiącach udziału w projekcie jego główne założenia oraz pierwsze wyzwania, związane z jego realizacją, zostały zaprezentowane na konferencji EGU w Wiedniu w 2018 roku w postaci posteru naukowego którego byłem współautorem (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;21). Szczegółowe wyniki tej części, za którą byłem odpowiedzialny w projekcie tj. analizy spektralne FTIR oraz eksperyment dekompozycyjny zhomogenizowanego torfu były prezentowane na międzynarodowej konferencji REPEAT Project Conference: “Fen peatlands across ecological gradients”; jako część konferencji The 27th Deltas and Wetlands Symposium w Tulczy w Rumuni (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;24) oraz na międzynarodowej konferencji International Conference „Lakes & Reservoirs: Hot Spot and Topics in Limnology” w Mikorzynie w Polsce (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 2;26). Na tej konferencji jeszcze został zaprezentowany przez moją żonę mgr Małgorzatę Pronin poster, którego byłem współautorem i dotyczył on zgrupowań zooplanktonu w toni jeziora oraz stanowiskach zdominowanych przez makrofity w Jeziora Razim (szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 2;27), w obrębie którego, na torfowiskach trzcinowych prowadziliśmy również badania i eksperymenty dekompozycyjne w projekcie REPEAT z rumuńskimi partnerami z Instytutu Delty Dunaju w Tulczy.

W trakcie stażu podoktorskiego byłem również zaangażowany w prace przy eksperymencie donicowym z gatunkami turzyc, który obejmował turzyce pobrane z naturalnych stanowisk w północno-wschodniej Polsce, co stanowiło komponent porównawczy względem zbiorów dokonanych przez partnerów z Niemiec ze stanowisk niemieckich i holenderskich. Efektem mojego zaangażowania w te prace jest współautorstwo w postaniu dwóch publikacji naukowych związanych z wynikami z realizacji tego eksperymentu (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;13 i 15).

W pracy opublikowanej w czasopiśmie The Science of the Total Environment (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;13) poruszono zagadnienia związane z analizą

tego, w jakim stopniu turzycy (rodzaj *Carex*) mogą redukować eutrofizację torfowisk niskich poprzez pobór i akumulację składników pokarmowych. W badaniach zastosowano eksperyment mezokosmowy prowadzony w donicach, gdzie wzrastało pięć gatunków turzyc w 12 wariantach troficznych (dodawano zróżnicowane stężenia biogenów tj. związków azotu i fosforu). Wyniki wykazały zróżnicowanie w produktywności turzyc. Stwierdzono, iż kluczowym czynnikiem determinującym wielkość retencjonowanych biogenów jest produktywność gatunku, a nie jego naturalne preferencje siedliskowe. Szczególnie wysoką efektywność wykazały *C. acutiformis* i *C. rostrata*, co wskazuje, że zbiory ich biomasy mogą być narzędziem zarówno ochrony jakości wód torfowiskowych, jak i zrównoważonego użytkowania torfowisk. W drugiej publikacji, opublikowanej w czasopiśmie *Wetlands* (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;15) skupiono się na dwóch gatunkach turzyc tj. *C. acutiformis* i *C. rostrata* pobranych z stanowisk w Polsce, Niemczech oraz z Holandii. Gatunki te hodowano w donicach podobnie jak te uwzględnione w poprzedniej pracy tj. zastosowano 12 stopniowy gradient troficzny substancji biogenych. Celem badania było to aby sprawdzić czy dywersyfikacja pochodzenia geograficznego turzyc miało wpływ na zróżnicowanie produkcji biomasy nadziemnej oraz podziemnej badanych gatunków turzyc. Nasze badania wykazały występowanie różnic związanych z biomasa części nadziemnych obu turzyc a ich pochodzeniem. Natomiast w przypadku części podziemnych wykazano, iż u *C. rostrata* wystąpiły zróżnicowania nie tylko pomiędzy pochodzeniem turzyc ale również pomiędzy poziomem troficznym w zastosowanym w eksperymencie gradiencie substancji odżywczych. Nasze badania podkreślają konieczność rozpatrywania lokalnych warunków siedliskowych w odniesieniu do tak podstawowych cech funkcjonalnych turzyc jak biomasa podziemnych kłączy.

Pomimo skoncentrowania się na badaniach związanych z materią organiczną na torfowiskach niskich, nie porzuciłem mojego zainteresowania naukowego związanego z jeziorami i jeszcze podczas zatrudnienia w projekcie REPEAT wziąłem udział w III warsztatach makrofitowych sekcji makrofitowej Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego, gdzie nakreśliłem problem związany z zagrożeniem i moimi obawami co do monitoringu małych jezior wykorzystywanych jako kąpieliska. Działanie to podyktowane było znaczącym rozwojem infrastruktury w obrębie kąpieliska zorganizowanego na Jeziorze Długie w Rzepinie, które było przedmiotem badań mojej pierwszej pracy magisterskiej (szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 2;25). Udział w tym spotkaniu zmotywował mnie do przeprowadzenia głębszej analizy nad jeziorami i drobnymi zbiornikami wodnymi wykorzystywanymi w celach kąpieliskowych oraz szczegółowemu przyjrzeniu się ich monitoringowi w ramach założeń

różnych aktów prawnych. W konsekwencji napisałem pracę omawiającą, w moim przekonaniu, niedostatecznie wygórowane wytyczne dotyczące monitoringu kąpielisk (w szczególności zorganizowanych na jeziorach i drobnych zbiornikach wodnych) związanego z Ramową Dyrektywą Kąpieliskowa implementowaną do polskiego prawodawstwa (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;11). W pracy opublikowanej przeze mnie w 2021 roku w czasopiśmie *Environmental Science and Pollution Research* skupiłem się na tych, moim zdaniem, niedostatecznych wytycznych związanych z monitoringiem miejsc organizacji kąpielisk na jeziorach i drobnych zbiornikach wodnych. W pracy uwzględniłem nie tylko te elementy wymagane w monitoringu kąpielisk tj. liczebność bakterii kałowych *Escherichia coli* oraz Enterokoków ale również dla części badanych jezior i zbiorników wodnych stężenie chlorofilu *a* oraz zagęszczenie sinic, które estymowałem bazując na danych związanych z trofią poszczególnych jezior i zbiorników wodnych (zgodnie z zaproponowaną w artykule metodyką). Badania wyraźnie wykazały, że uwzględniając te dodatkowe informacje o chlorofilu *a* i zagęszczeniu sinic zdecydowanie większa liczba kąpielisk uzyskałaby niższą ocenę niż tę, którą miała w oparciu jedynie o elementy związane z bakteriami kałowymi. Tego typu dodatkowe parametry mogłyby bardziej realnie oceniać zagrożenie dla kąpiących, w przypadku bardziej szczegółowej identyfikacji zagrożenia ze strony sinic, które produkują różne, potencjalnie groźne dla kąpiących toksyny. Te dodatkowe parametry byłyby również przydatne do oceny kondycji małych jezior oraz drobnych zbiorników wodnych z uwagi na fakt, iż inne programy monitoringu wód stosowane w Polsce często ich wcale nie obejmują.

Podczas zatrudnienia jako adiunkt badawczy realizując projekt „Zróżnicowanie składu stabilnych izotopów węgla i azotu roślinności, wody i osadów wzdłuż gradientu zakwaszenia jezior lobeliowych” zainteresowałem się działalnością naukową jednego z pracowników Katedry Ekologii Roślin na Wydziale Biologii UG tj. dr. Rafała Chmary. Jego zainteresowanie naukowe skupia się przede wszystkim na powiązaniu cech funkcjonalnych roślin wodnych z elementami środowiskowymi oraz konkurencji pomiędzy tymi roślinami. Ponieważ lepsze zrozumienie tych zależności było na tym etapie realizacji grantu dla mnie szczególnie cenne, nawiązałem (również za namową ówczesnego szefa Katedry Ekologii Roślin, prof. Józefa Szejmę) współpracę z dr. Chmarą, która polegała na wspólnym opracowywaniu wyników badań prowadzonych przez niego nad wpływu zróżnicowania strategii pobierania węgla do procesu fotosyntezy na poszczególne cechy funkcjonalne roślinności wodnej, zwłaszcza tej występującej w jeziorach miękkowodnych tj. jezior lobeliowych. Dzięki tej współpracy powstała praca opublikowana w 2021 roku w czasopiśmie *PeerJ* (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;14). Nasz artykuł wskazuje, że liściowe cechy funkcjonalne makrofitów

wodnych są silnie uzależnione od strategii pozyskiwania nieorganicznego węgla (wolny CO₂, CO₂ atmosferyczny, wodorowęglany). Analiza 30 gatunków makrofitów z jezior lobeliowych w północnej Polsce wykazała, że rośliny te prezentują niezwykle szerokie spektrum cech ekonomii liścia (powierzchnia, sucha masa, SLA – tj. specyficzna powierzchnia liścia) oraz zróżnicowanie kształtu (okrągłość), co odzwierciedla ich adaptacje do ograniczonej dostępności węgla. Gatunki korzystające z wolnego CO₂ (np. mchy, isoetidy) charakteryzowały się wysoką SLA i cienkimi liśćmi, rośliny wykorzystujące CO₂ atmosferyczny (gatunki o liściach pływających) miały duże, cięższe i bardziej owalne liście, natomiast rośliny które posiadają zdolność korzystania z wodorowęglanów wykazywały umiarkowane wartości cech przy dużej zmienności form. Wyniki potwierdzają, że cechy liści makrofitów są efektem długotrwałych adaptacji do warunków chemicznych i świetlnych środowiska oraz strategii maksymalizacji poboru węgla.

Kolejna praca, będąca owocem współpracy z dr. Rafałem Chmarą, ukazała się w czasopiśmie *Hydrobiologia* w 2024 roku. Dotyczyła ona zagadnień związanych z cechami funkcjonalnymi różnych typów liści u rzadkiej i chronionej, heterofilnej rośliny wodnej *Luronium natans* (L.) Raf., związanej ze specyficzną grupą jezior lobeliowych (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;21). Nasze badania pokazały, że u *Luronium natans* występuje bardzo wysoka wewnątrzgatunkowa zmienność cech liści (ITV), obejmująca zarówno cechy funkcjonalne (powierzchnia liścia, masa sucha, SLA, LDMC), jak i cechy kształtu (okrągłość, stosunek szerokości do długości). Największe różnice stwierdzono między liśćmi rozetowymi a liśćmi na pędach heterofilnych. Liście rozetowe, całkowicie zanurzone charakteryzowały się wyższym SLA i węższym kształtem, co odpowiada przystosowaniu do życia pod wodą, podczas gdy liście pływające były mniejsze, o większej zawartości suchej masy i bardziej owalnym kształcie. Zmienność wewnątrz jednego typu liści na pędzie heterofilnym była mniejsza niż w rozetach, a obserwowane korelacje między parami cech (np. SLA-LDMC, powierzchnia liścia-okrągłość) wskazują na istnienie wzorca zmienności niezależnego od warunków środowiskowych. Analiza wykazała bowiem, że różnice środowiskowe w badanych jeziorach miały minimalny wpływ na cechy liści, co sugeruje dominującą rolę plastyczności fenotypowej w adaptacji *L. natans* do kontrastowych warunków powietrzno-wodnych.

Ponadto, w takcie zatrudnienia jako adiunkt badawczy, realizując projekt z konkursu NCN Sonatina postanowiłem wykorzystać zdobytą wiedzę i doświadczenie związane z monitoringiem wód w rzekach nabyte podczas pracy w Wydział Monitoringu w Wojewódzkim Inspektoracie Ochrony Środowiska w Zielonej Górze. Zainteresowałem się możliwością

wykorzystania danych Państwowego Monitoringu Środowiska w analizach naukowych. Wspólnie z moją żoną mgr. Małgorzatą Pronin podjąłem się opracowania zagadnienia związanego ze stężeniami związków biogenych w wodach jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) rzecznych, w szczególności tych położonych w zlewniach typowo rolniczych co zostało zaprezentowane na konferencji Potamon w 2021 roku (szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 2;31) i opublikowane jako rozdział w monografii wydanej po tej konferencji (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;12). Nasze analizy wskazały, że w przypadku JCWP źródłowych udział gruntów rolnych w zlewniach wyraźnie koreluje ze wzrostem stężeń azotu azotanowego, azotynowego oraz azotu ogólnego w wodzie, natomiast powierzchnia leśna działa redukująco na poziom biogenów. Dla JCWP ocenianych metodą przeniesienia (sporządzoną w 2020 roku) takich zależności nie stwierdzono, co dowodzi ograniczonej przydatności tej metody w odzwierciedlaniu rzeczywistego wpływu rolnictwa na jakość wód. Nasza publikacja podkreśla, że stosowana w monitoringu ekstrapolacja danych może zaniżać znaczenie zróżnicowania użytkowania terenu i prowadzić do błędnej oceny stanu wód, co ma szczególne znaczenie w kontekście realizacji Dyrektywy Azotanowej. Wskazaliśmy również na potrzebę udoskonalenia metod oceny oraz lepszego doboru JCWP źródłowych, aby uzyskać bardziej wiarygodny obraz oddziaływania rolnictwa na jakość wód płynących.

We wspomnianym powyżej okresie zatrudnienia jako adiunkt badawczy aktywnie prezentowałem wyniki prowadzonych badań związanych z chemizmem jezior lobeliowych oraz składem stabilnych izotopów węgla i azotu makrofitów oraz osadów pobranych z tych jezior na konferencjach międzynarodowych tj. 12th Symposium for European Freshwater Sciences w Dublinie w 2021 roku (konferencja tylko online z uwagi na pandemię koronawirusa SARS-CoV-2, szczegóły bibliograficzne: Załącznik 4; II poz. 2;29; 30), European Geosciences Union General Assembly 2022 (EGU 2022) w Wiedniu w 2022 roku (Załącznik 4; II poz. 2;32), 36th Congress of the International Society of Limnology (SIL100) w Berlinie w 2022 roku (Załącznik 4; II poz. 2;33), 23rd Meeting of the Group of European Charophytologists w Rydze w 2022 roku (Załącznik 4; II poz. 2;34) oraz 13th Symposium for European Freshwater Sciences w Newcastle upon Tyne w 2023 roku (Załącznik 4; II poz. 2;37), gdzie również zaprezentowałem zorientowane izotopowo oraz opracowane przez moje dyplomantki postery naukowe z wynikami ich prac dyplomowych (Załącznik 4; II poz. 2;38; 39).

W okresie zmiany stanowiska w Katedrze Ekologii Roślin na Wydział Biologii UG z adiunkta w grupie pracowników badawczych na adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych ukazała się większość opracowanych wcześniej artykułów związanych z

realizacja grantu Sonatina 3 finansowego z środków NCN w Krakowie, które stanowią większość artykułów przedstawionych jako omówione osiągnięcia naukowe w podrozdziale 4.2. Poza tymi artykułami powstał jeszcze rozdział w monografii dotyczący zagadnień związanych ze składem stabilnych izotopów węgla i azotu czterech makrofitów zanurzonych w rzekach północnej Polski (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;17), którego treść w następnych latach została rozszerzona i opublikowana jako artykuł naukowy w międzynarodowym czasopiśmie *Ecohydrology & Hydrobiology* (Pronin, E., Wrosz, Z., Banaś, K., Merdalski, M., 2025. Following the Footsteps of macrophytes: Potential application of isotope signals in pollution monitoring: A case study of northern Polish rivers. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 25, 4, 100650 <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2025.100650>). We wspomnianym rozdziale nakreśliłmy istotność, oszacowanego zgrubnie, zróżnicowania w typie użytkowania terenu na skład stabilnych izotopów węgla i azotu czterech gatunków makrofitów zanurzonych, co później bardziej szczegółowo udowodniliśmy w rozszerzonym, szczegółowym badaniu opublikowanym w artykule w czasopiśmie *Ecohydrology & Hydrobiology*. Zostało to szczegółowo opisane w podrozdziale 4.3.

Ponadto, podczas obecnego zatrudniania jako adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych w 2022 roku, na zaproszenie prof. Mariusza Pełechatego włączyłem się w opracowywanie posiadanych przez niego danych izotopowych węglanów pochodzenia ramienicowego. Współpraca zaowocowała powstaniem jednej pracy, która ukazała się w 2024 roku w czasopiśmie *Freshwater Biology* (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;22). W artykule przeanalizowano izotopowe sygnatury węglanu wapnia odkładającego się na plechach czterech gatunków ramienic (*Nitellopsis obtusa* (Desvaux) J. Groves, *Chara tomentosa*, *C. rudis* A. Br. (syn. *C. subspinosa* Ruprecht), *C. contraria* Kütz.) w jeziorach środkowej Polski, aby określić, w jakim stopniu są one kształtowane przez czynniki gatunkowe, a w jakim przez specyfikę jeziora. Badania wykazały, że wartości $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w inkrustacjach ramienic były bardziej zróżnicowane niż w wodzie otaczającej i pelagicznej, a różnice izotopowe zależały zarówno od morfologii roślin, jak i od warunków środowiskowych. Chociaż część gatunków (np. *N. obtusa* i *C. contraria*) wytrącała węglan bliski równowadze izotopowej z DIC w wodzie, to wyraźne odchylenia dla wartości $\delta^{13}\text{C}$ obserwowano u gatunku *C. rudis*, co wskazuje na istotny wpływ efektów biologicznych związanych z intensywną fotosyntezą i budową morfologiczną. Kluczowe znaczenie miały zarówno właściwości wody (mineralizacja, alkaliczność, zawartość biogenów), jak i struktura zbiorowisk roślinnych (PVI) oraz głębokość na jakiej były one zlokalizowane. W pracy stwierdzono, że sygnatury izotopowe węglanów odkładanych przez ramienice są raczej specyficzne dla danego jeziora niż dla gatunku, a zapis

izotopowy w inkrustacjach może odzwierciedlać warunki całego epilimnionu, a nie tylko strefy roślinnej w litoralu. Ustalenia w pracy i przedstawione wyniki mają istotne znaczenie dla interpretacji zapisów paleolimnologicznych, sugerując potrzebę dalszych badań porównawczych w różnych typach jezior. Warto wspomnieć, iż obecnie wykorzystany do tej pracy zbiór danych stanowi podstawę do kolejnego artykułu, będącego w przygotowaniu, gdzie tym razem (zgodnie z ustaleniami z prof. Mariuszem Pełechatym) koordynuję pracę nad nim i w konsekwencji będę jej pierwszym autorem.

Podsumowując, tak jak przedstawiłem, jestem zaangażowany w różnego typu tematy badawcze, poza głównym stanowiącym trzon mojej pracy badawczej i przedstawiany tu jako moje osiągnięcia naukowe związane z wnioskiem. W kolejnych latach zamierzam kontynuować rozpoczętą współpracę z dr Rafałem Chmarą i włączyć do tematyki związanej z izotopami stabilnymi zagadnienia związane z cechami funkcjonalnymi roślin. W celu efektywniejsze pracy nad tymi zagadnieniami moja obecna magistrantka Pani Zofia Wrosz złożyła wniosek, w konkursie Preludium do Narodowego Centrum Nauki w Krakowie, gdzie dr Rafał Chmara został wskazany jest jako potencjalny wykonawca a ja pełnię rolę Opiekuna i Promotora. Mimo nie zakwalifikowania się do finansowania, w przyszłości planuje się ponowne złożenie wniosku w podobnej tematyce badawczej. Sam również, w najbliższym czasie, planuję złożenie wniosku w konkursie Opus, w którym analizy stabilnych izotopów będą wiodącym elementem wniosku konkursowego. Zamierzam również, kontynuować pracę związaną z analizą danych izotopowych węglanów ramienicowych, w których posiadaniu jest promotor mojej pracy doktorskiej prof. dr hab. Mariusz Pełechaty. Planowane jest także opracowywanie danych zgromadzonych w ramach realizowanych projektów badawczych dotyczących badanych ekosystemów wodnych, gdzie planuję powiązać dane izotopowe z danymi FTIR-ATR oraz skupić się bardziej na gradiencie głębokościowym i jego wpływie na sygnał izotopowy makrofitów zanurzonych.

Podsumowanie dorobku naukowego:

Mój dorobek naukowy składa się z 25 publikacji (w tym 8 wskazanych jako osiągnięcia naukowe). Jest to 19 oryginalnych artykułów naukowych znajdujących się w czasopismach ujętych na liście JRC oraz jeden artykuł z czasopisma indeksowanego w bazie Scopus oraz dwa artykuły naukowe w czasopismach polskich, które już nie funkcjonują, niemniej jednak prace te indeksowane są w Google Scholar. Pozostałe trzy publikacje to pełne rozdziały w monografiach pokonferencyjnych, dwie w monografiach z wydawnictw punktowanych zgodnie z komunikatem z 5.01.2024 wydanym przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego,

jedna w monografii pokonferencyjnej wydana przez nieistniejącą od kilku lat Stację Ekologiczną Jeziory (szczegóły bibliograficzne Załącznik 4; II poz. 8;1-25).

Jestem autorem i współautorem 50 wystąpień konferencyjnych (28 na 24 konferencjach międzynarodowych) z czego przed uzyskaniem stopnia doktora 17 wystąpień konferencyjnych na 15 konferencjach (w tym 10 międzynarodowych), gdzie wygłosiłem samodzielnie 8 wystąpień (3 na konferencjach międzynarodowych) i zaprezentowałem osobiście 3 postery naukowe (wszystkie na konferencjach międzynarodowych). Po uzyskaniu stopnia doktora wygłosiłem osobiście 9 referatów na konferencjach i seminariach międzynarodowych i zaprezentowałem 3 postery. Natomiast na konferencjach krajowych wygłosiłem 6 referatów oraz zaprezentowałem 2 postery naukowe (Załącznik 4; II poz. 2;1-50).

Ponadto, kierowałem jednym dużym, projektem z środków Narodowego Centrum Nauki w Krakowie przyznany w konkursie Sonatina 3 (projekt został już rozliczony, szczegóły Załącznik 8, 2) oraz dwoma mniejszymi projektami: jednym będącym akcją mobilnościową, umożliwiającą dostęp do infrastruktury laboratorium geochemicznego w Grignon we Francji – była to częścią dużego projektu ExpeER – Experimentation in Ecosystem Research finansowanego z środków 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej oraz byłem kierownikiem projektu wewnątrzuniwersyteckiego finansowanego z środków IDUB – Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza (Załącznik 4; II poz. 4;1;4).

Od momentu zatrudnienia jako adiunkt badawczo-dydaktyczny byłem promotorem ukończonej jednej pracy magisterskiej oraz trzech prac licencjackich. Obecnie pełnię rolę promotora trzech prac magisterskich oraz jednej pracy licencjackiej.

W sporym zakresie angażuję się również w prace związane z recenzowaniem artykułów w znacznej liczbie czasopism międzynarodowych wiodących wydawców takich jak Elsevier, Wiley, Taylor & Francis, Springer, MDPI itd. (około 180 recenzji, szczegóły w Załączniku 10 poz. 4) oraz w recenzję wniosków grantowych Czeskiej Fundacji Naukowej (recenzowałem pięć wniosków grantowych – Załącznik 10 poz. 5).

Eugeniusz Pronin

.....
podpis wnioskodawcy