

Autoreferat

1. **Imię i nazwisko:** Magdalena Łacka-Wojciechowska
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

- **Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii**, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, 2016.

Tytuł rozprawy doktorskiej: *„An interplay between sea ice and thermohaline circulation during Younger Dryas- a multiproxy record of paleoceanographic changes in the European Arctic”*.

Promotor pracy: prof. dr hab. Marek Zajączkowski

Publiczna obrona pracy miała miejsce 27. października 2016, natomiast tytuł doktora nauk o Ziemi został nadany przez Radę Naukową Instytutu Oceanologii PAN uchwałą z dnia 8 listopada 2016.

- **Magister**, kierunek oceanografia, specjalizacja geologia morza. Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, 2010.

Tytuł pracy magisterskiej: *„Ocena współczesnych zmian warunków hydrologicznych we fjordzie Hornsund (Spitsbergen) na podstawie składu gatunkowego otwornic bentosowych”*

Promotor pracy: prof. dr hab. Marek Zajączkowski

3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**

- od 2022: kierownik Pracowni Sedymentologii, Stratygrafii i Mikropaleontologii w Zakładzie Paleoceanografii Instytutu Oceanologii PAN
- od marca 2018: adiunkt w Zakładzie Paleoceanografii, Instytut Oceanologii PAN
- 2016-2020: Ekspert (Potencjał B+R i wdrożeniowy uczelni i jednostek naukowych oraz Ochrona przyrody) w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014-2020

- listopad 2015 - grudzień 2015: staż w Instytucie Nauk i Technologii Środowiskowych, Uniwersytet Autonomiczny w Barcelonie, Hiszpania
 - styczeń 2013 - marzec 2013: staż w Zakładzie Geologii, Uniwersytet w Tromsø, Norwegia
 - 2010-2017: doktorant w Zakładzie Ekologii, Instytut Oceanologii PAN
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.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Rola atlantyfikacji w kształtowaniu zmienności środowiska północnego Atlantyku i Arktyki europejskiej od ostatniej deglacjacji do współczesności

Na przedstawione osiągnięcie naukowe składa się cykl sześciu powiązanych tematycznie publikacji, które łącznie tworzą spójny zbiór osiągnięć badawczych dotyczących roli atlantyfikacji w kształtowaniu środowiska północnego Atlantyku i Arktyki europejskiej.

Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

O1. Łacka, M. *, Zajączkowski, M., Forwick, M., Szczuciński, W., 2015: Late Weichselian and Holocene paleoceanography of Storfjordrenna, southern Svalbard, *Climate of the Past*, 11, 587–603.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pełnienie funkcji pierwszego i korespondencyjnego autora, opracowanie koncepcji badań, wykonanie analiz laboratoryjnych (mikropaleontologicznych i sedimentologicznych), opracowanie i interpretację danych, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rycin i tabel, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami.

O2. Łącka, M. *, Cao, M., Rosell-Melé, A., Pawłowska, J., Kucharska, M., Forwick, M., Zajączkowski, M., 2019: Postglacial paleoceanography of the western Barents Sea: Implications for alkenone-based sea surface temperatures and primary productivity, *Quaternary Science Reviews*, 224, 105973.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pełnienie funkcji pierwszego i korespondencyjnego autora, opracowanie koncepcji badań, wykonanie analiz laboratoryjnych (analiza alkenonów), opracowanie i interpretację danych, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rycin i tabel, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami.

O3. Łącka M.*, Michalska D., Pawłowska J., Szymańska N., Szczucinski W., Forwick M., Zajączkowski M., 2020: Multiproxy paleoceanographic study from the western Barents Sea reveals dramatic Younger Dryas onset followed by oscillatory warming trend. *Scientific Reports*, 10, 15667.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pełnienie funkcji pierwszego i korespondencyjnego autora, pozyskanie środków na realizację badań, opracowanie koncepcji badań, współudział w wykonaniu modelu wiekowego, wykonanie analiz laboratoryjnych (analiza alkenonów, analiza mikropaleontologiczna i geochemiczna), opracowanie i interpretację danych, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rycin i tabel, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami.

O4. Devendra, D.*, **Łącka, M.**, Szymańska, N., Szymczak-Żyła, M., Krajewska, M., Weiner, A. K. M., De Schepper, S., Simon, M. H., Zajączkowski, M., 2023: The development of ocean currents and the response of the cryosphere on the Southwest Svalbard shelf over the Holocene. *Global and Planetary Change*, 228, 104213.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pozyskanie środków finansowych na realizację badań, opracowanie koncepcji badań, udział w pracach terenowych, opracowanie modelu wiekowego, wykonanie analiz laboratoryjnych (opis litologiczny, analiza mikropaleontologiczna i sedimentologiczna), interpretację danych, przegląd i wybór literatury oraz edytowanie manuskryptu publikacji. Pełniłam również rolę opiekuna naukowego

(promotor pomocniczy doktoratu dr Dhanushka Devendra, którego częścią był ten artykuł), sprawując merytoryczny nadzór nad pracą doktoranta oraz wspierając rozwój koncepcji i metodologii badań.

O5. Kujawa, A., **Łącka, M.***, Szymańska, N., Pawłowska, J., Telesiński, M. M., Zajączkowski, M., 2021: Could Norwegian fjords serve as an analogue for the future of the Svalbard fjords? State and fate of high latitude fjords in the face of progressive “atlantification”. *Polar Biology*, 44 (12), 2217-2233.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pełnienie funkcji autora korespondencyjnego, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, opracowanie koncepcji badań, udział w pracach terenowych, opracowanie i interpretację danych, nadzór merytoryczny nad przebiegiem prac laboratoryjnych, opiekę merytoryczną nad doktorantką (dr Natalia Szymańska), przegląd i wybór literatury, przygotowanie rycin i tabel, wykonanie dokumentacji fotograficznej oraz SEM badanych organizmów, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji oraz konsultacje ze współautorami.

O6. **Łącka, M.***, Devendra, D., Szymczak-Żyła, M., Lubecki, L., Krajewska, M., Telesiński, M. M., Szymańska, N., Thorsteinsson, B. B., Mortensen, L., Zajączkowski, M. Anthropogenic and climatic impacts on sedimentation and pollution in Faroese fjords over the past century: A multi-proxy approach from Hvannasund and Skálafjørður. *Anthropocene*, 100544, <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2026.100544>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował: pełnienie funkcji pierwszego i korespondencyjnego autora, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, opracowanie koncepcji badań, udział w pracach terenowych, opracowanie modelu wiekowego, wykonanie analiz laboratoryjnych (opis litologiczny, analiza sedimentologiczna), opracowanie i interpretację danych, przegląd i wybór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji.

**autor korespondencyjny*

Istotnym elementem przedstawionego osiągnięcia jest mój indywidualny wkład w formułowanie problemów badawczych, projektowanie badań, integrację danych wieloskażnikowych oraz ich interpretację w kontekście zmienności dopływu wód

atlantyckich i funkcjonowania systemu ocean-kriosfera-ekosystem. W czterech z sześciu publikacji pełniłam funkcję pierwszej i korespondencyjnej autorki, natomiast w pozostałych pracach odpowiadałam za istotne elementy koncepcji badań, pozyskanie finansowania, realizację analiz i interpretację danych oraz nadzór naukowy nad realizacją badań. Mój udział w poszczególnych pracach obejmował zatem zarówno rozwój koncepcji i metodologii, jak i bezpośrednią realizację badań oraz integrację wyników, co pozwoliło na wypracowanie spójnej interpretacji roli atlantyfikacji w kształtowaniu zmienności środowiska morskiego.

Dane bibliometryczne publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne:

Numer publikacji	Czasopismo	Rok publikacji	IF*	Liczba punktów MNiSW**	Liczba cytowań***
O1.	Climate of the Past	2015	3.368	100	35
O2.	Quaternary Science Reviews	2019	3.803	140	19
O3.	Scientific Reports	2020	4.379	140	10
O4.	Global and Planetary Change	2023	4	140	10
O5.	Polar Biology	2021	2.198	70	16
O6.	Anthropocene	2026	4.7	100	0
			Σ22.448	Σ690	Σ90

*IF w roku publikacji

**według załącznika do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 5 stycznia 2024

***według bazy Scopus na dzień 01.10.2026

Omówienie celu naukowego oraz wyników prac stanowiących osiągnięcie habilitacyjne:

Wstęp, tło badań i luka poznawcza

Współczesne zmiany klimatyczne są szczególnie intensywnie obserwowane w Arktyce, gdzie, w wyniku tzw. amplifikacji arktycznej, tempo wzrostu temperatury jest ponad dwukrotnie wyższe niż średnia globalna (He i in., 2024; Screen i in., 2025). Jednym z kluczowych procesów odpowiedzialnych za te zmiany jest zwiększony dopływ ciepłych i zasolonych wód atlantyckich do mórz nordyckich i Oceanu Arktycznego, określany mianem atlantyfikacji (np., Polyakov i in., 2017; Årthun i in., 2025). Proces ten prowadzi do szeregu konsekwencji środowiskowych, takich jak redukcja pokrywy lodu morskiego, zmiany w sezonowości sedymentacji (Weydmann i in., 2021), reorganizacja struktur troficznych oraz

przesunięcia biogeograficzne organizmów morskich (Ingvaldsen i in., 2021; Descamps i in., 2026).

Jednocześnie atlantyfikacja wpływa bezpośrednio na funkcjonowanie biologiczne oceanu, w tym na produkcję pierwotną oraz efektywność transferu materii organicznej do dna morskiego. Z jednej strony redukcja pokrywy lodowej i wydłużenie sezonu wegetacyjnego mogą sprzyjać wzrostowi produkcji pierwotnej, z drugiej jednak strony silniejsze uwarstwienie kolumny wody i ograniczenie mieszania pionowego mogą prowadzić do zmniejszenia dostępności składników odżywczych w warstwie eufotycznej (np., Popova i in., 2010; Slagstad i in., 2011). W konsekwencji odpowiedź ekosystemów na atlantyfikację może być niejednoznaczna i silnie zależna od lokalnych warunków hydrograficznych.

Szczególnie istotnym, a jednocześnie wciąż słabo rozpoznanym aspektem jest wpływ atlantyfikacji na zagrzebywanie węgla organicznego w osadach morskich. Zmiany w produktywności, strukturze zespołów planktonowych oraz dynamice sedymentacji mogą istotnie modyfikować zarówno ilość, jak i jakość materii organicznej docierającej do dna, a tym samym efektywność długoterminowego magazynowania węgla w systemach szelfowych i fiordowych. Pomimo rosnącej liczby badań współczesnych (np., Smith i in., 2015; Cui i in., 2016; Szymańska, Łacka i in., 2021), nadal brakuje jednoznacznych odpowiedzi dotyczących kierunku i skali tych zmian, szczególnie w kontekście długoterminowym.

W szerszym ujęciu atlantyfikacja stanowi jeden z kluczowych elementów wpływających na stabilność systemu cyrkulacji północnego Atlantyku w warunkach postępującego ocieplenia klimatu. Szczególnie istotny jest tu bilans pomiędzy nasilającą się adwekcją ciepłych i zasolonych wód atlantyckich a rosnącą dostawą wód słodkich pochodzących z topniejących lodowców i lądolodów, która może prowadzić do osłabienia Atlantycznej Południkowej Cyrkulacji Wymiennej (ang. *Atlantic Meridional Overturning Circulation*, AMOC; np., Rahmstorf i in., 2015; Ditlevsen i in., 2023). Współczesne obserwacje wskazują, że oba te procesy zachodzą równolegle, jednak ich wzajemne relacje oraz progi stabilności systemu pozostają nadal słabo poznane (np., IPCC, 2023).

Pomimo intensywnych badań nad współczesną atlantyfikacją, wciąż istnieje istotna luka poznawcza dotycząca jej długoterminowego charakteru. W szczególności brakowało odpowiedzi na pytanie, czy atlantyfikacja jest zjawiskiem wyłącznie współczesnym, związanym z antropogenicznym ociepleniem klimatu, czy też stanowi element naturalnej zmienności systemu klimatyczno-oceanicznego, obecnym w przeszłości geologicznej. Dodatkowo, mechanizmy sprzężeń pomiędzy dopływem wód atlantyckich, dynamiką kriosfery

oraz funkcjonowaniem ekosystemów morskich, w tym produkcją pierwotną i sekwestracją węgla, pozostawały słabo rozpoznane w ujęciu wielkoskalowym.

Szczególne znaczenie w tym kontekście ma również rola dopływu wód słodkich podczas deglacjacji, który może prowadzić do destabilizacji AMOC, będącej jednym z kluczowych elementów globalnego systemu klimatycznego. Zrozumienie relacji pomiędzy atlantyfikacją a potencjalnym osłabieniem AMOC wymaga analizy zapisów paleoceanograficznych o wysokiej rozdzielczości czasowej.

Motywacja i cel badań

Motywacją podjętych badań była potrzeba zrozumienia długoterminowej zmienności procesów oceanicznych w rejonie Północnego Atlantyku i Arktyki oraz określenia ich znaczenia dla współczesnych zmian klimatycznych. Kluczowym założeniem było wykorzystanie zapisów osadów morskich jako archiwów informacji o zmianach środowiskowych, umożliwiających rekonstrukcję przeszłych warunków oraz identyfikację analogów dla procesów obserwowanych obecnie.

Głównym celem naukowym przedstawionych osiągnięć było wykazanie roli atlantyfikacji w kształtowaniu zmienności środowiska morskiego od ostatniej deglacjacji do współczesności oraz określenie jej wpływu na cyrkulację oceaniczną, kriosferę i funkcjonowanie ekosystemów morskich.

Realizacja tego celu opierała się na trzech komplementarnych kierunkach badawczych:

- rekonstrukcji zmienności dopływu wód atlantyckich i migracji frontu arktycznego w zapisie paleoceanograficznym (O1, O2, O3, O4, O6),
- określeniu wpływu atlantyfikacji na produktywność biologiczną oraz strukturę kolumny wody (O2, O4, O6),
- identyfikacji odpowiedzi ekosystemów morskich i systemów fiordowych na postępującą atlantyfikację w przeszłości i współcześnie (O1, O2, O3, O4, O5, O6).

W tym kontekście zasadniczym ograniczeniem badań współczesnych jest ich krótki horyzont czasowy, uniemożliwiający uchwycenie pełnego spektrum naturalnej zmienności systemu. Kluczową rolę odgrywają zatem archiwa paleoceanograficzne, które pozwalają prześledzić reakcję systemu ocean-kriosfera na analogiczne zaburzenia w przeszłości, w szczególności w okresach intensywnej deglacjacji oraz holocenckiego optimum klimatycznego.

Celem przeprowadzonych przeze mnie badań było zatem ilościowe i procesowe odtworzenie zmienności atlantyfikacji oraz jej konsekwencji dla produktywności biologicznej,

cyrkulacji wód i funkcjonowania ekosystemów morskich w systemie północnego Atlantyku i europejskiej Arktyki, przy wykorzystaniu wysokorozdzielczych zapisów osadowych oraz ich porównanie z procesami współczesnymi.

Uzyskane wyniki

Pierwsza publikacja (O1) stanowi fundament prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego, wprowadzając zarówno ramy metodologiczne, jak i główną oś interpretacyjną dotyczącą roli atlantyfikacji w kształtowaniu środowiska europejskiej Arktyki. Badania przeprowadzono w rejonie Storfjordrenny, strefie przejściowej pomiędzy zimnymi, mniej zasolonymi wodami arktycznymi Morza Barentsa a ciepłymi i mocno zasolonymi wodami atlantyckimi, stanowiącej obszar szczególnie wrażliwy na zmiany w funkcjonowaniu AMOC. Wybór lokalizacji badawczej wynikał z jej kluczowego znaczenia dla rejestrowania zmian w dopływie wód atlantyckich do Arktyki oraz dla analizy zmienności tego systemu w ujęciu paleoceanograficznym.

Nowatorski charakter tej pracy wynikał z połączenia szczegółowej analizy litologicznej, badań mikropaleontologicznych oraz zastosowania skanowania fluorescencji rentgenowskiej (XRF), co w momencie publikacji stanowiło jedno z pierwszych kompleksowych opracowań rekonstrukcji środowiskowej w tym regionie. Tak szczegółowa analiza umożliwiła wydzielenie pięciu jednostek litologicznych i precyzyjne przypisanie ich do kolejnych etapów deglacjacji oraz rozwoju warunków oceanograficznych obszaru badań w holocen.

Kluczowym wynikiem pracy było uchwycenie momentu przejścia od systemu zdominowanego przez wody arktyczne do systemu kontrolowanego przez napływ wód atlantyckich, co interpretowane jest jako migracja frontu arktycznego przez obszar Storfjordrenny. W zapisie izotopowym ($\delta^{18}\text{O}$) oraz w składzie zespołów otwornicowych zmiana ta jest wyraźnie widoczna pod koniec wczesnego holocenu (ok. 10-9.6 ka BP), kiedy wartości izotopowe ulegają przesunięciu w kierunku charakterystycznym dla cieplejszych i bardziej zasolonych mas wodnych, a jednocześnie wzrasta udział gatunków związanych z wodami atlantyckimi.

We wcześniejszym okresie (późny plejstocen i wczesny holocen) zapis wskazuje na dominację wód arktycznych, silny wpływ wód wytopiskowych oraz obecność pokrywy lodowej, co przejawia się m.in. niską bioróżnorodnością zespołów otwornicowych oraz dużą zmiennością wskaźników sedymentologicznych. W tym czasie front arktyczny znajdował się na zachód od miejsca badań, a Storfjordrenna pozostawała pod wpływem mas wodnych Morza Barentsa.

Stopniowe przesuwanie się frontu polarnego na wschód w trakcie wczesnego holocenu doprowadziło do fundamentalnej reorganizacji systemu oceanograficznego. Około 9.6 ka BP odnotowano trwałe przejście do warunków zdominowanych przez wody atlantyckie, co znajduje odzwierciedlenie w stabilizacji zapisu izotopowego, wzroście różnorodności fauny oraz pojawieniu się gatunków wskaźnikowych dla ciepłych i dobrze natlenionych wód przydennych. Moment ten należy interpretować jako początek wyraźnej atlantyfikacji tego sektora Arktyki.

W okresie holocenijskiego optimum klimatycznego (ok. 9.2-3.6 ka BP) warunki oceanograficzne rejonu badań utrzymywały się w sposób względnie stabilny, co wskazuje na trwałą dominację wód atlantyckich oraz ograniczenie wpływu wód arktycznych i procesów glacialnych. Jednocześnie obserwowane epizody zwiększonego transportu materiału lodowcowego (ang. *ice-rafted debris*, IRD) sugerują, że nawet w warunkach silnej atlantyfikacji system pozostawał wrażliwy na krótkotrwałe fluktuacje klimatyczne i zmiany w dynamice lodowców.

W późnym holocenie nastąpiło częściowe osłabienie wpływu wód atlantyckich w warstwach powierzchniowych, przy jednoczesnym ich utrzymaniu w głębszych partiach kolumny wody, co wskazuje na zmianę struktury pionowej systemu oceanograficznego, a nie jego całkowitą reorganizację.

Istotnym aspektem tej publikacji jest również fakt, że analizowany rdzeń stanowił podstawę dla kolejnych badań rozwijających interpretację atlantyfikacji z wykorzystaniem nowych wskaźników. Materiał ten został wykorzystany nie tylko w pracach stanowiących część niniejszego osiągnięcia (O2 i O3), lecz także w badaniach rozwijających nowe podejścia proxy, takich jak:

- Telesiński i in., 2020- wykorzystanie wielkości otwornic jako wskaźnika zmian klimatycznych,
- Telesiński, Kucharska, **Łacka** i Zajączkowski, 2024- rekonstrukcja pokrywy lodowej na podstawie składu gatunkowego cyst bruzdnic,
- Nethupul, **Łacka** i in., 2026- zastosowanie środowiskowego starożytnego DNA (sedaDNA) do odtwarzania zmian ekosystemów.

Podsumowując, publikacja ta po raz pierwszy w sposób jednoznaczny wskazała moment i mechanizm przejścia frontu arktycznego w rejonie zachodniego Morza Barentsa, dokumentując początek dominacji wód atlantyckich jako kluczowego czynnika kształtującego środowisko tego obszaru. Wyniki te stanowią punkt wyjścia dla dalszych analiz przedstawionych w kolejnych pracach, w których szczegółowo badano konsekwencje tej zmiany dla

produktywności, struktury ekosystemów oraz funkcjonowania systemu oceanicznego w warunkach postępującej atlantyfikacji.

W drugiej pracy (O2) po raz pierwszy dla zachodniej części Morza Barentsa uzyskano ciągły, obejmujący ostatnie 14 tysięcy lat zapis temperatury powierzchniowej morza (ang. *sea surface temperature*, SST) oparty na analizie alkenonów ($U_k'_{37}$), uzupełniony o wskaźniki dominacji wód arktycznych ($\%C_{37:4}$) oraz produktywności pierwotnej (stężenie całkowite alkenonów).

W okresie Bølling-Allerød SST osiągały wartości 2-5°C, zbliżone do współczesnych SST dla tego regionu, co wskazuje na istotny udział wód atlantyckich już na etapie deglacjacji. Jednocześnie wysokie wartości $\%C_{37:4}$ oraz niskie stężenia alkenonów świadczą o dominacji rozcieńczonych wód arktycznych i ograniczonej produktywności, związanej z intensywną dostawą wód wytopiskowych i silną stratyfikacją kolumny wody.

Początek młodszego dryasu (~12.8 ka BP) charakteryzuje się niemal całkowitym zanikiem sygnału alkenonów, co interpretowane jest jako efekt trwałej pokrywy lodowej i zahamowania produkcji pierwotnej. W dalszej części tego okresu obserwuje się stopniowy powrót sygnału wód atlantyckich oraz dużą zmienność SST, wskazującą na niestabilną kondycję mas wodnych.

Najbardziej wyraźna reorganizacja systemu nastąpiła na początku holocenu, kiedy SST osiągały nawet ~10°C, a spadek $\%C_{37:4}$ wskazuje na trwałą dominację wód atlantyckich i przesunięcie frontu arktycznego. Mimo wysokich temperatur, produktywność pierwotna pozostawała stosunkowo niska, co interpretowane jest jako efekt osłabienia mieszania konwekcyjnego i ograniczonego dopływu składników odżywczych.

Uzyskane wyniki wskazują, że atlantyfikacja prowadzi nie tylko do wzrostu temperatury, ale również do reorganizacji systemu produktywności poprzez zmianę stratyfikacji i przesunięcie stref wysokiej produkcji biologicznej ku północy. Stanowi to istotny analog dla współczesnych zmian, sugerując, że dalsze ocieplenie i zanik lodu morskiego mogą skutkować spadkiem produktywności w zachodniej części Morza Barentsa mimo rosnących temperatur.

Trzecia z prac (O3) stanowiących podstawę osiągnięcia habilitacyjnego koncentruje się na wysokorozdzielczej rekonstrukcji zmian środowiska morskiego młodszego dryasu w zachodniej części Morza Barentsa, ze szczególnym uwzględnieniem relacji pomiędzy dopływem wód słodkich, zmiennością AMOC oraz ograniczeniem lub reorganizacją atlantyfikacji regionu.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że przejście z interstadiału Bølling-Allerød do młodszego dryasu (~12.8 ka BP) miało charakter gwałtowny i progowy. W zapisie osadowym

przejawia się to całkowitym zanikiem zespołów otwornic bentosowych i planktonicznych oraz spadkiem udziału frakcji IRD, co wskazuje na nagłe pogorszenie warunków środowiskowych. Jednocześnie w tym samym czasie odnotowano masowe występowanie mikrokonkrekcji wiwianitu (~10 500-11 800 szt./g osadu), które stanowią bezpośredni wskaźnik warunków beztlenowych przy dnie. Szczególnego znaczenia nabiera fakt, że było to pierwsze udokumentowane odkrycie mikrokonkrekcji wiwianitu w osadach morskich Arktyki Europejskiej oraz dopiero drugie tego typu odkrycie w ogóle w osadach morskich Arktyki. Tym samym praca ta dostarczyła nowego, wcześniej nierozpoznanego wskaźnika ekstremalnych warunków środowiskowych związanych z izolacją wód morskich od atmosfery.

Interpretacja tych danych prowadzi do wniosku, że na początku młodszego dryasu w rejonie zachodniej części Morza Barentsa rozwinęła się wieloletnia pokrywa lodowa, która przez okres kilku dekad całkowicie ograniczała wymianę gazową pomiędzy atmosferą a oceanem. Warunki te były konsekwencją silnego osłabienia dopływu wód atlantyckich, co wskazuje na istotne zaburzenie funkcjonowania AMOC. W kontekście głównego tematu habilitacji stanowi to kluczowy dowód, że ograniczenie atlantyfikacji może być bezpośrednio związane z intensywną dostawą wód słodkich do północnego Atlantyku.

Po tej krótkotrwałej, ekstremalnej fazie nastąpiło częściowe przywrócenie napływu wód atlantyckich, jednak miało ono charakter podpowierzchniowy i było znacznie słabsze niż w okresie Bølling-Allerød. W zapisie paleoceanograficznym objawia się to pojawieniem się oportunistycznych gatunków otwornic oraz stopniowym wzrostem ich liczebności, przy jednoczesnym utrzymywaniu się sezonowej pokrywy lodowej. Wskazuje to na funkcjonowanie systemu w stanie przejściowym, w którym atlantyfikacja była ograniczona i niestabilna.

Jednym z najważniejszych wyników tej pracy jest wykazanie, że młodszy dryas nie był okresem jednorodnym, lecz charakteryzował się wyraźną zmiennością oscylacyjną. W zapisie osadowym widoczne są naprzemienne epizody ociepleń i ochłodzeń, którym towarzyszyły zmiany w SST, intensywności transportu IRD oraz liczebności i bioróżnorodności zespołów otwornicowych. Epizody cieplejsze związane były z poprawą wentylacji wód przydennych i okresowym nasileniem dopływu wód atlantyckich, natomiast fazy chłodne odzwierciedlały ponowne ograniczenie atlantyfikacji i pogorszenie warunków środowiskowych.

Szczególnie istotnym aspektem uzyskanych wyników jest wykazanie wyraźnej antyfazowej relacji pomiędzy zmianami temperatury w zachodniej części Morza Barentsa a centralną Zatoką Baffina. W okresach, gdy w Storfjordrennie obserwowano ochłodzenie i osłabienie wpływu wód atlantyckich, w Zatoce Baffina rejestrowano jednocześnie wzrost temperatury, i odwrotnie- fazy ocieplenia w Morzu Barentsa odpowiadały ochłodzeniu w Zatoce Baffina.

Zjawisko to było najprawdopodobniej związane z zamknięciem w tym czasie Cieśniny Beringa, co ograniczało odpływ wód roztopowych z Oceanu Arktycznego do Pacyfiku. W konsekwencji ich główną drogą transportu pozostawała Cieśnina Fram, co prowadziło do reorganizacji cyrkulacji w północnym Atlantyku. Nadmiar wód słodkich mógł blokować dopływ wód atlantyckich do mórz nordyckich, jednocześnie wymuszając ich redystrybucję w kierunku zachodniego Atlantyku, w tym do Zatoki Baffina.

Uzyskane wyniki wskazują zatem, że zmienność dopływu wód słodkich odgrywała kluczową rolę w modulowaniu przestrzennego rozkładu atlantyfikacji, prowadząc do naprzemiennego ocieplania i ochładzania różnych sektorów północnego Atlantyku.

Końcowa faza młodszego dryasu charakteryzowała się gwałtownym ociepleniem w rejonie badań, zsynchronizowanym z dalszym ochłodzeniem w Zatoce Baffina. Zdarzenie to zostało powiązane z otwarciem Cieśniny Beringa i powstaniem nowego kanału odpływu wód słodkich z Oceanu Arktycznego, co doprowadziło do zmniejszenia ich akumulacji w północnym Atlantyku i umożliwiło ponowną intensyfikację AMOC oraz powrót atlantyfikacji.

Jednocześnie w badanym rdzeniu osadów zidentyfikowano epizod oscylacji preborealnej (~11.3 ka BP), wskazujący na krótkotrwałe, wtórne osłabienie AMOC przez wody roztopowe już po zakończeniu młodszego dryasu. Ostateczna stabilizacja warunków oceanograficznych i pełne przejście do warunków interglacjalnych nastąpiło dopiero około 9.6 ka BP.

Wyniki tej pracy mają kluczowe znaczenie dla interpretacji współczesnych zmian klimatycznych. Pokazują one, że system północnego Atlantyku funkcjonuje jako układ silnie nieliniowy, w którym zwiększona dostawa wód słodkich może prowadzić do gwałtownego osłabienia AMOC i jednoczesnego ograniczenia atlantyfikacji regionów arktycznych. Wskazują również, że przywrócenie cyrkulacji może następować skokowo, w odpowiedzi na reorganizację systemu odpływu wód słodkich.

W kontekście współczesnego ocieplenia klimatu, gdzie obserwuje się jednocześnie intensyfikację atlantyfikacji oraz wzrost dopływu wód słodkich z topniejącego lądolodu grenlandzkiego, uzyskane wyniki stanowią istotny analog procesowy, wskazujący na potencjalne ryzyko destabilizacji systemu AMOC i związanych z tym gwałtownych zmian klimatycznych.

Czwarta publikacja stanowi kluczowe ogniwo łączące zapis późnoglacialny z długoterminową ewolucją atlantyfikacji w holocenie. Na podstawie wielowskaźnikowej analizy rdzenia HR07 (SW Svalbard) odtworzono zmienność warunków oceanograficznych, dynamikę pokrywy lodowej oraz zmiany w strukturze kolumny wody w ciągu ostatnich ~11 500 lat.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że wczesny holocen (11-10.2 ka BP) był okresem silnej dominacji wód arktycznych transportowanych przez Prąd Wschodniopitsbergeński, co skutkowało rozwojem rozległej pokrywy lodowej oraz ograniczeniem produkcji biologicznej. Okres ten został powiązany z oscylacją preborealną i interpretowany jako efekt czasowego osłabienia AMOC. Tym samym wyniki te bezpośrednio wpisują się w główny wątek osiągnięcia, pokazując, że ograniczenie atlantyfikacji było ściśle związane z reorganizacją cyrkulacji oceanicznej w skali całego północnego Atlantyku.

Następujące po tym gwałtowne ocieplenie (~10 ka BP) związane było z intensyfikacją napływu wód atlantyckich wraz z Prądem Zachodniopitsbergeńskim i zapoczątkowało okres holocenijskiego optimum klimatycznego (10-7 ka BP). W zapisie osadowym przejawia się to wysokimi wartościami SST (alkenony), brakiem sygnału lodu morskiego (IP₂₅) oraz oznakami silnej hydrodynamiki przydennej prowadzącej do erozji osadów. W tym czasie kolumna wody była zdominowana przez wody atlantyckie, co wskazuje na jeden z najsilniejszych epizodów atlantyfikacji w całym analizowanym okresie.

Po ~7 ka BP obserwuje się stopniowe osłabienie wpływu wód atlantyckich, co przejawia się powrotem sezonowej pokrywy lodowej oraz wzrostem udziału IRD, szczególnie intensywnym w przedziale 6.5-3 ka BP. Zmiany te wskazują na zwiększoną aktywność lodowców oraz przesunięcie frontu polarnego w kierunku szelfu. Jednocześnie dane proxy wskazują, że wody atlantyckie nie zanikają całkowicie, lecz ich rdzeń ulega pogłębieniu i funkcjonuje poniżej warstwy zimnych wód arktycznych, co świadczy o zmianie struktury pionowej kolumny wody.

Szczególnie interesującym wynikiem jest identyfikacja krótkotrwałych epizodów intensywniej atlantyfikacji w późnym holocenie (~2.3 i ~1.5 ka BP), które objawiały się wzrostem temperatury oraz nasileniem procesów erozyjnych przy dnie. Epizody te wskazują, że nawet w okresach ogólnego ochłodzenia system pozostawał wrażliwy na impulsy cyrkulacyjne i zdolny do szybkiej reorganizacji.

Całość uzyskanych wyników pokazuje, że atlantyfikacja w holocenie charakteryzowała się dużą zmiennością w różnych skalach czasowych- od długoterminowych trendów po krótkotrwałe epizody. Co kluczowe, jej intensywność była bezpośrednio powiązana ze stanem cyrkulacji termohalinowej oraz bilansem dopływu wód słodkich.

W kontekście głównego tematu habilitacji praca ta dostarcza jednoznacznych dowodów, że współczesna atlantyfikacja ma swoje analogi w przeszłości, jednak jej przebieg i konsekwencje są silnie uzależnione od równowagi pomiędzy dopływem ciepłych wód atlantyckich a ilością wody słodkiej na powierzchni oceanu. Tym samym wyniki te stanowią istotny wkład w

zrozumienie potencjalnej przyszłej ewolucji systemu ocean-kriosfera w warunkach postępującego ocieplenia klimatu.

Piąta publikacja stanowi kluczowe rozszerzenie badań paleoceanograficznych o komponent współczesny, umożliwiającą bezpośrednią weryfikację interpretacji procesów atlantyfikacji w oparciu o obserwacje ekosystemów fiordowych. Celem pracy było porównanie struktury zespołów otwornic bentosowych w fiordach Svalbardu i Norwegii jako systemów znajdujących się na różnych etapach zaawansowania atlantyfikacji.

Analiza zespołów otwornicowych wykazała relatywnie niski poziom podobieństwa pomiędzy fiordami obu regionów (~30% według wskaźnika Braya-Curtisa), co wskazuje na istotne różnice środowiskowe pomimo wspólnego wpływu wód atlantyckich. Fiordy norweskie charakteryzują się wysoką liczebnością gatunków oportunistycznych, takich jak *Bolivina robusta*, *Fursenkoina complanata* czy *Globobulimina turgida*, które preferują środowiska o obniżonej zawartości tlenu i podwyższonej dostępności materii organicznej. Interpretowane jest to jako efekt silnej presji antropogenicznej i eutrofizacji, prowadzących do rozwoju warunków hypoksycznych.

Z kolei w fiordach Svalbardu zaobserwowano wyraźne zmiany w składzie zespołów otwornicowych w porównaniu do danych historycznych z lat 90., wskazujące na postępującą atlantyfikację tych systemów. Najbardziej istotnym wynikiem jest pierwsze odnotowanie obecności gatunku atlantyckiego *Melonis affinis* w Rjipfjorden (północny Svalbard), który dotychczas był uznawany za system typowo arktyczny. Zmiana ta stanowi bezpośredni dowód na migrację gatunków związanych z wodami atlantyckimi i przekształcanie struktury biocenoz bentosowych w odpowiedzi na ocieplenie i zwiększony napływ wody atlantyckiej.

Wyniki te wskazują, że atlantyfikacja współczesnych fiordów Svalbardu prowadzi do stopniowej reorganizacji ekosystemów, jednak proces ten nie prowadzi do pełnej homogenizacji z systemami subarktycznymi. Fiordy te zachowują swoją odrębność, co sugeruje, że odpowiedź ekosystemów na atlantyfikację jest modulowana przez lokalne warunki środowiskowe, takie jak morfologia fiordów, dopływ wód słodkich czy obecność lodowców.

W szerszym kontekście osiągnięcia habilitacyjnego praca ta stanowi istotne ogniwo łączące zapis paleoceanograficzny z obserwacjami współczesnymi. Wykazane zmiany w zespołach otwornicowych potwierdzają, że procesy identyfikowane w zapisie kopalnym, takie jak napływ wód atlantyckich, zmiany w stratyfikacji czy reorganizacja produktywności, znajdują bezpośrednie odzwierciedlenie w funkcjonowaniu współczesnych ekosystemów.

Jednocześnie wyniki wskazują, że przyszła ewolucja fiordów arktycznych może przebiegać w dwóch równoległych kierunkach: w regionach o ograniczonej presji antropogenicznej

dominować będzie wpływ atlantyfikacji i migracji gatunków, natomiast w systemach silnie przekształconych przez działalność człowieka głównym czynnikiem kształtującym ekosystemy będzie eutrofizacja i rozwój warunków hypoksycznych.

Szósta publikacja stanowi końcowy element osiągnięcia habilitacyjnego, rozszerzający analizę procesu atlantyfikacji o jego bardziej współczesny wymiar w warunkach nasilającej się presji antropogenicznej. Na podstawie wysokorozdzielczych rdzeni osadów z fiordów Wysp Owczych (Hvannasund i Skálafjørður) przeprowadzono wielowskaźnikową rekonstrukcję zmian sedymentacyjnych, produktywności oraz zanieczyszczenia środowiska w ciągu ostatnich ~100 lat. Choć obszar ten nie należy do regionu arktycznego *sensu stricto*, Wyspy Owce leżą na szlaku wód atlantyckich przemieszczających się na północ i zasilających Morza Nordyckie oraz Arktykę europejską, stanowiąc istotny element tego systemu cyrkulacji.

Jednym z najważniejszych wyników jest wykazanie cztero- do pięciokrotnego wzrostu tempa sedymentacji od lat 50.–60. XX wieku (z ~1.2 mm/rok do ~8 mm/rok), który jest skorelowany ze wzrostem akumulacji węgla organicznego (ang. *organic carbon accumulation rate*, OCAR) oraz produktywności pierwotnej. Dane biomarkerowe (sterole fitoplanktonowe) jednoznacznie wskazują, że materia organiczna ma głównie pochodzenie morskie, a wzrost jej depozycji związany jest z intensyfikacją produkcji biologicznej. Jednocześnie skład biomarkerów ujawnia wyraźne różnice w strukturze zespołów planktonowych pomiędzy fiordami, kontrolowane przez lokalne warunki hydrograficzne- dominację okrzemek w dobrze wentylowanym Hvannasund oraz bruzdnic w bardziej stratyfikowanym Skálafjørður.

Uzyskane wyniki pokazują, że współczesna atlantyfikacja, przejawiająca się w utrzymywaniu się stosunkowo ciepłych wód atlantyckich w regionie, oddziałuje równolegle z czynnikami antropogenicznymi, prowadząc do intensyfikacji obiegu materii organicznej i wzrostu zdolności tych systemów do sekwestracji węgla. Obserwowane wartości OCAR (do ~75 g m⁻² rok⁻¹) plasują fiordy farerskie wśród najbardziej efektywnych środowisk pochłaniania węgla w północnym Atlantyku, przewyższając wiele systemów arktycznych i subarktycznych.

Jednocześnie wykazano, że wzrost produktywności i sedymentacji jest ściśle powiązany z działalnością człowieka. Wzrost liczby ludności, rozwój infrastruktury oraz ograniczona efektywność systemów oczyszczania ścieków znajdują odzwierciedlenie w rosnących stężeniach biomarkerów ściekowych, silnie skorelowanych z danymi demograficznymi (R² do 0.72). Dodatkowo obecność związków takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i hopany wskazuje na wpływ transportu morskiego, przemysłu oraz historycznych

wydarzeń (np. aktywność militarna w czasie II wojny światowej), choć poziomy zanieczyszczeń pozostają relatywnie niskie w skali europejskiej.

Istotnym wnioskiem płynącym z tej pracy jest wykazanie, że współczesne systemy fiordowe funkcjonują pod wpływem sprzężonych oddziaływań klimatycznych i antropogenicznych. Z jednej strony atlantyfikacja oraz związane z nią zmiany w stratyfikacji i produktywności mogą zwiększać efektywność pochłaniania węgla, z drugiej jednak, rosnące obciążenie materią organiczną prowadzi do pogorszenia warunków tlenowych i może skutkować rozwojem hypoksji lub anoksji, jak obserwowane w Skálafjørður.

W kontekście głównego tematu osiągnięcia habilitacyjnego praca ta pokazuje, że współczesna atlantyfikacja nie może być rozpatrywana wyłącznie jako proces naturalny, lecz jako zjawisko współwystępujące z intensywną presją antropogeniczną, która modyfikuje jego skutki i prowadzi do nowych, złożonych trajektorii zmian środowiskowych. Fiordy farerskie stanowią tym samym modelowy przykład systemów przejściowych pomiędzy Arktyką a strefą umiarkowaną, w których nakładają się sygnały klimatyczne i antropogeniczne.

Podsumowanie osiągnięcia naukowego i jego znaczenie

Prezentowany cykl sześciu publikacji stanowi spójne, wielowymiarowe opracowanie roli atlantyfikacji w kształtowaniu środowiska północnego Atlantyku i Arktyki europejskiej w różnych skalach czasowych- od deglacjacji po współczesność. Kluczowym osiągnięciem tych badań jest wykazanie, że atlantyfikacja nie jest wyłącznie zjawiskiem obserwowanym współcześnie, lecz procesem powtarzalnym w historii holocenu, którego mechanizmy i konsekwencje mogą być rekonstruowane na podstawie wysokorozdzielczych archiwów osadowych.

W ujęciu koncepcyjnym najważniejszym wkładem przedstawionych badań jest rozszerzenie definicji atlantyfikacji z procesu fizycznego, związanego z adwekcją ciepłych i zasolonych wód atlantyckich, do roli nadrzędnego czynnika kontrolującego funkcjonowanie ekosystemów morskich. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zmienność dopływu wód atlantyckich prowadzi do kaskadowych zmian obejmujących strukturę kolumny wody, zasięg pokrywy lodowej, produktywność pierwotną, warunki tlenowe przy dnie oraz skład i biogeografię zespołów bentosowych.

Jednym z kluczowych rezultatów było określenie momentu inicjacji atlantyfikacji w zachodniej części Morza Barentsa po ostatnim zlodowaceniu oraz powiązanie tego procesu z migracją frontu arktycznego. Kolejne badania wykazały, że intensyfikacja dopływu wód atlantyckich w holocenie prowadziła do istotnych zmian w produktywności morskiej oraz

reorganizacji obiegu materii organicznej. Jednocześnie wykazano, że epizody gwałtownego dopływu wód słodkich, takie jak w młodszym dryasie, mogły prowadzić do czasowego osłabienia lub reorganizacji cyrkulacji termohalinowej, skutkując ograniczeniem atlantyfikacji a nawet rozwojem ekstremalnych warunków środowiskowych, w tym długotrwałej pokrywy lodowej i warunków anoksycznych.

Istotnym elementem osiągnięcia jest również wykazanie, że atlantyfikacja jest procesem przestrzennie zróżnicowanym, którego skutki zależą od lokalnych warunków hydrograficznych i geomorfologicznych. Badania współczesnych fiordów norweskich i svalbardzkich pokazały, że napływ wód atlantyckich prowadzi do przesunięć biogeograficznych i kolonizacji środowisk arktycznych przez gatunki typowo atlantyckie, co stanowi bezpośredni analog zmian obserwowanych w zapisie kopalnym. Z kolei analiza fiordów Wysp Owczych wykazała, że w warunkach współczesnych atlantyfikacja nakłada się na presję antropogeniczną, prowadząc do intensyfikacji sedymentacji, wzrostu produktywności oraz zmian w obiegu węgla i zanieczyszczeń.

Drugim istotnym wkładem pracy jest rozwój i integracja metod badawczych. W przedstawionych badaniach zastosowano podejście wielowskaźnikowe („multiproxy”), łączące klasyczne wskaźniki mikropaleontologiczne i geochemiczne z nowoczesnymi metodami, takimi jak analiza biomarkerów (alkenony, IP₂₅, sterole, wskaźniki zanieczyszczeń), co pozwoliło na kompleksową rekonstrukcję zmian środowiskowych w różnych komponentach systemu morskiego. Szczególnie istotne było wdrożenie i rozwój analiz biomarkerowych w badaniach paleoceanograficznych Arktyki, co umożliwiło ilościowe odtwarzanie temperatury wód powierzchniowych oraz produktywności w rejonach, gdzie klasyczne wskaźniki były ograniczone.

W szerszym kontekście przedstawione wyniki wskazują, że współczesne zmiany klimatyczne w Arktyce, w tym postępująca atlantyfikacja, mają swoje odpowiedniki w przeszłości geologicznej, jednak ich przebieg i skutki mogą być obecnie modyfikowane przez dodatkowe czynniki, takie jak antropogeniczne wzbogacenie środowiska w materię organiczną i zanieczyszczenia. Oznacza to, że przyszła trajektoria zmian środowiskowych może odbiegać od naturalnych analogów holocenijskich.

Podsumowując, osiągnięcie to wnosi istotny wkład do nauk o Ziemi poprzez:

- (i) wykazanie długoterminowej, powtarzalnej natury procesu atlantyfikacji,
- (ii) określenie jego roli jako kluczowego mechanizmu kontrolującego funkcjonowanie ekosystemów morskich,

- (iii) identyfikację sprzężeń pomiędzy atlantyfikacją, dopływem wód słodkich i zmiennością cyrkulacji oceanicznej,
- (iv) rozwój nowoczesnych metod rekonstrukcji paleoceanograficznych,
- (v) oraz powiązanie zapisów paleoceanograficznych ze współczesnymi obserwacjami zmian środowiskowych.

Spis literatury

- Årthun, M., Brakstad, A., Dörr, J., Johnson, H.L., Mans, C., Semper, S. & Våge, K. (2025). Atlantification drives recent strengthening of the Arctic overturning circulation. *Science Advances*, 11(28), eadu1794. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adu1794>
- Cui, X., Bianchi, T. S., Savage, C., & Smith, R. W. (2016). Organic carbon burial in fjords: Terrestrial versus marine inputs. *Earth and Planetary Science Letters*, 451, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.07.003>
- Descamps, S., Jungblut, S., Yoccoz, N. G., Schlegel, R., Kovacs, K. M., Merkel, F., ... & Bischof, K. (2026). Biodiversity changes in Arctic coastal ecosystems under borealization. *PNAS Nexus*, pgag004. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgag004>
- Ditlevsen, P. & Ditlevsen, S. (2023). Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications*, 14, 4254. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39810-w>
- He, Y., Shu, Q., Wang, Q. i in. (2024). Arctic amplification of marine heatwaves under global warming. *Nature Communications*, 15, 8265. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52760-1>
- Ingvaldsen, R. B., Assmann, K. M., Primicerio, R., Fossheim, M., Polyakov, I. V., & Dolgov, A. V. (2021). Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(12), 874-889. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00228-x>
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Ma, Q., Shi, X., Scholz, P., Sidorenko, D., Lohmann, G. & Ionita, M. (2024). Revisiting climate impacts of an AMOC slowdown: dependence on freshwater locations in the North Atlantic. *Science Advances*, 10(47), eadr3243. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr3243>
- Polyakov, I.V., Pnyushkov, A.V., Alkire, M.B., Ashik, I.M., Baumann, T.M., Carmack, E.C. i in. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science*, 356(6335), 285–291. <https://doi.org/10.1126/science.aai8204>
- Popova, E. E., Yool, A., Coward, A. C., Aksenov, Y. K., Alderson, S. G., De Cuevas, B. A., & Anderson, T. R. (2010). Control of primary production in the Arctic by nutrients and light: insights from a high resolution ocean general circulation model. *Biogeosciences*, 7(11), 3569-3591. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3569-2010>
- Rahmstorf, S., Box, J.E., Feulner, G., Mann, M.E., Robinson, A., Rutherford, S. & Schaffernicht, E.J. (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, 5(5), 475–480. <https://doi.org/10.1038/nclimate2554>
- Screen, J.A., Audette, A., Blackport, R. i in. (2026). Causes and consequences of Arctic amplification elucidated by coordinated multimodel experiments. *Communications Earth & Environment*, 7, 23. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-03052-z>
- Slagstad, D., Ellingsen, I. H., & Wassmann, P. (2011). Evaluating primary and secondary production in an Arctic Ocean void of summer sea ice: an experimental simulation approach. *Progress in Oceanography*, 90(1-4), 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.02.009>
- Smith, R. W., Bianchi, T. S., Allison, M., Savage, C., & Galy, V. (2015). High rates of organic carbon burial in fjord sediments globally. *Nature Geoscience*, 8(6), 450-453. <https://doi.org/10.1038/ngeo2421>
- Szymańska, N., Łacka, M., Koziorowska-Makuch, K., Kuliński, K., Pawłowska, J., Kujawa, A., ... & Zajączkowski, M. (2021). Foraminifera-derived carbon contribution to sedimentary inorganic carbon pool: A case study from three Norwegian fjords. *Geobiology*, 19(6), 631-641. <https://doi.org/10.1111/gbi.12460>
- Weydmann-Zwolicka, A., Prątnicka, P., Łacka, M., Majaneva, S., Cottier, F. & Berge, J. (2021). Zooplankton and sediment fluxes in two contrasting fjords reveal Atlantification of the Arctic. *Science of the Total Environment*, 773, 145599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145599>

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

Szczegółowy wykaz osiągnięć naukowych przedstawiono w załączniku „Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny”. Poniżej przedstawiam syntetyczne ujęcie mojej działalności naukowej, z uwzględnieniem jej międzynarodowego charakteru, samodzielności badawczej oraz roli w inicjowaniu i rozwijaniu nowych kierunków badawczych.

Moje zainteresowania badawcze w zakresie procesów czwartorzędowych oraz paleoceanografii kształtowały się od wczesnych etapów edukacji i były konsekwentnie rozwijane na kolejnych etapach kariery naukowej. Studia licencjackie rozpoczęłam w 2005 roku na kierunku oceanografia na Wydziale Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego. Już na tym etapie aktywnie uczestniczyłam w działalności Studenckiego Koła Oceanografów, angażując się zarówno w inicjatywy organizacyjne, jak i pierwsze projekty terenowe. W latach 2006-2007 współorganizowałam studenckie wyprawy naukowe (Wyspy Alandzkie, Rugia), których efektem było zgromadzenie materiału badawczego oraz popularyzacja wyników w środowisku akademickim.

Kluczowym momentem w rozwoju mojej kariery naukowej było nawiązanie współpracy z prof. Markiem Zajączkowskim, co umożliwiło mi realizację badań w rejonach polarnych. W 2010 roku uczestniczyłam w miesięcznym pobycie badawczym na Spitsbergenie (Polska Stacja Polarna w Hornsundzie oraz rejon Sørkapp), podczas którego zebrałam materiał badawczy stanowiący podstawę mojej pracy magisterskiej pt. „Ocena współczesnych zmian warunków hydrologicznych we fjordzie Hornsund (Spitsbergen) na podstawie składu gatunkowego otwornic bentosowych”. Wyniki tych badań zostały następnie opublikowane w czasopiśmie *Annales Societatis Geologorum Poloniae* (Łącka i Zajączkowski, 2015).

Po ukończeniu studiów magisterskich rozpoczęłam studia doktoranckie w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie w ramach projektu „PALECURR” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W trakcie studiów doktoranckich pełniłam funkcję przewodniczącej studium doktoranckiego oraz przedstawiciela doktorantów w Radzie Naukowej Instytutu Oceanologii PAN (2011-2014).

Podstawą mojej rozprawy doktorskiej był rdzeń osadów morskich pobrany w 2009 roku z pokładu statku badawczego R/V *Jan Mayen* (obecnie R/V *Helmer Hanssen*) we współpracy z

zespołem Uniwersytetu w Tromsø, Norwegia (UiT). Od 2010 roku regularnie odbywałam wyjazdy naukowe do UiT, gdzie prowadziłam konsultacje wyników badań z dr Matthiasem Forwickiem, współpracowałam przy przygotowywaniu publikacji naukowych oraz korzystałam z zaawansowanej infrastruktury badawczej, co umożliwiło rozwój współpracy międzynarodowej. W 2011 roku w ramach pobytu w UiT odbyłam specjalistyczne szkolenie z zakresu taksonomii otwornic planktonicznych pod kierunkiem dr Katarzyny Zamelczyk. Równolegle angażowałam się w życie tamtejszego środowiska naukowego, m.in. jako wolontariusz przy organizacji międzynarodowej konferencji Arctic Frontiers (2010, 2011), na której w 2011 roku otrzymałam wyróżnienie Association of Polar Early Career Scientists (APECS) za najlepszą prezentację posterową.

W 2012 roku, równolegle do wyjazdów do Tromsø, nawiązałam współpracę naukową z Uniwersytetem w Turku (Finlandia) w ramach projektu „Quantifying climate variability since Late-glacial in Southern Svalbard (QUAL)” finansowanego przez Academy of Finland (2012-2016). Wspólnie z prof. Markiem Zajączkowskim realizowaliśmy polsko-fińskie wyprawy terenowe do Hornsundu i Storfjorden, odpowiedzialni byliśmy za część oceanograficzną projektu oraz pobór rdzeni osadów morskich. Wyniki badań z tego projektu zostały wykorzystane m.in. w publikacji Pawłowska, J., **Łącka, M.**, Kucharska, M., Pawłowski, J., Zajączkowski, M. (2020). Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard. *Climate of the Past*, 16(2), 487–501.

W 2013 roku ponownie przebywałam na UiT, uczestnicząc w projekcie finansowanym przez Research Council of Norway dotyczącym zakwaszenia Oceanu Arktycznego, w którym byłam odpowiedzialna za analizę mikropaleontologiczną otwornic planktonicznych oraz interpretację wyników; w trakcie pobytu wygłosiłam również wykład dla studentów i doktorantów w ramach warsztatów Workshop in Arctic Marine Geology and Geophysics.

Istotnym etapem rozwoju mojego warsztatu badawczego było nawiązanie w 2015 roku współpracy z prof. Antoni Rosell-Melé (Autonomous University of Barcelona), co umożliwiło wdrożenie analiz biomarkerów organicznych do badań paleoceanograficznych. W trakcie dwumiesięcznego stażu opracowałam i zoptymalizowałam metodykę ekstrakcji alkenonów, co pozwoliło na rekonstrukcję temperatur powierzchni morza w rejonach pozbawionych klasycznych wskaźników mikropaleontologicznych. Efektem tej współpracy była publikacja w *Quaternary Science Reviews* (Łącka i in., 2019) oraz rozwój nowego kierunku badawczego.

Wdrożenie analiz biomarkerów w Instytucie Oceanologii PAN było możliwe dzięki współpracy z zespołem prof. dr hab. Grażyny Kowalewskiej, a następnie dr hab. Małgorzaty Szymczak-Żyły, które odegrały kluczową rolę w rozwijaniu i implementacji metod

biomarkerowych oraz interpretacji uzyskanych danych. Kontynuacją tych badań był projekt OPUS (2019/33/B/ST10/00297), którego byłam współautorką, a który umożliwił zakup aparatury GC-FID oraz rozwój zaplecza analitycznego Zakładu Paleoceanografii.

Istotnym elementem mojego rozwoju naukowego było również zdobycie szerokiego doświadczenia terenowego, obejmującego udział w ponad 10 rejsach badawczych i kampaniach terenowych realizowanych w rejonach arktycznych (Morze Grenlandzkie, Morze Barentsa), w rejonie wyspy Jan Mayen, na Wyspach Owczych oraz w Morzu Bałtyckim. Prace te prowadziłam na pokładach statków badawczych, m.in. *r/v Oceania*, *r/v G.O. Sars* oraz *r/v Oceanograf II*. Zakres moich działań obejmował pobór rdzeni osadów morskich, próbkowanie osadów powierzchniowych i wody, a także udział w badaniach sejsmicznych i pomiarach hydrograficznych. Szczególnie istotne były dla mnie rejsy arktyczne, w tym kampanie AREX (2012, 2018, 2019) oraz zimowe kampanie w Adventfjorden na Svalbardzie (2015-2016).

W 2012 roku uzyskałam pierwszy grant badawczy (PRELUDIUM, NCN), w ramach którego rozwinęłam współpracę międzynarodową m.in. z instytutem OGS w Trieście. W 2014 roku uczestniczyłam w rejsie badawczym w ramach projektu Eurofleets-2 PREPARED na pokładzie norweskiego statku badawczego *r/v G.O. Sars*, co umożliwiło mi rozszerzenie badań o nowe dane terenowe oraz nawiązanie współpracy z międzynarodowym zespołem ekspertów. Wyniki tych badań zostały wykorzystane w publikacjach naukowych oraz prezentowane na konferencjach międzynarodowych.

W kolejnych latach aktywnie rozwijałam współpracę międzynarodową w ramach projektów badawczych. W 2019 roku byłam liderem pakietu roboczego WP2 („Palaeoceanographic analyses”) w projekcie GRIEG (NCN), realizowanym we współpracy z NORCE Norwegian Research Centre. Projekt ten integrował klasyczne podejścia mikropaleontologiczne z analizami środowiskowego DNA (sedaDNA) i zaowocował szeregiem publikacji w czasopiśmie międzynarodowych. W jego ramach uczestniczyłam również w kształceniu kadry naukowej jako promotor pomocniczy doktoranta.

Od roku 2023 uczestniczę w projekcie PASTIME finansowanym przez Norwegian Research Council. Projekt ma charakter międzynarodowy i realizowany jest we współpracy kilku instytucji naukowych, w tym NORCE Norwegian Research Centre (Bergen) jako lidera projektu, a także Uniwersytetu w Oslo, Uniwersytetu w Bergen oraz Norweskiego Instytutu Polarnego. W ramach projektu odpowiadam za odtwarzanie zmian produktywności w środowisku norweskich fiordów w trakcie ostatniego millennium, m.in. z wykorzystaniem analiz biomarkerów. Badania te realizowane są w Zakładzie Paleoceanografii Instytutu Oceanologii PAN.

Moje zainteresowania badawcze koncentrują się w szczególności na procesie atlantyfikacji Arktyki, który analizuję w różnych skalach czasowych i przestrzennych. W 2022 roku uzyskałam finansowanie projektu OPUS (ACCESS) jako kierownik, którego celem jest ocena wpływu atlantyfikacji na migrację gatunków otwornic w Arktyce Europejskiej w trakcie holocenu. W ramach projektu prowadzę badania w rejonie Svalbardu, Jan Mayen oraz Wysp Owczych, we współpracy z Faroese Geological Survey oraz z Uniwersytetem Warszawskim.

Poza głównym nurtem badań nad rekonstrukcją paleośrodowisk, współpracowałam z Uniwersytetem Gdańskim w zakresie współczesnych procesów sedymentacyjnych. W pierwszym projekcie analizowałam tempo sedymentacji w fiordzie Hornsund, prowadząc pomiary przy użyciu pułapek sedymentacyjnych oraz interpretując dane środowiskowe (Drewnik i in., 2016). W drugim projekcie uczestniczyłam w oznaczaniu zawiesiny ogólnej w wodach jezior północnej Polski, weryfikując zależności między danymi satelitarnymi a stanem troficznym jezior (Urbanski i in., 2016). W trzecim projekcie prowadziłam analizy strumieni materii opadającej w fiordach Kongsfjorden i Rijpfjorden, badając ich sezonową zmienność oraz wpływ atlantyfikacji i zmian klimatycznych na funkcjonowanie ekosystemów fiordów arktycznych (Weydmann-Zwolicka i in., 2021).

W 2025 roku prowadziłam serię wykładów z zakresu mikropaleontologii na zaproszenie Department of Oceanography and Marine Geology, University of Ruhuna (Sri Lanka), co stanowi potwierdzenie międzynarodowego uznania mojej działalności naukowej.

Od 2026 roku realizuję jako kierownik projekt badawczy FINGER, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu OPUS (nr projektu: 2025/59/B/ST10/02536), o budżecie około 1,1 mln PLN. Projekt stanowi naturalną kontynuację i rozwinięcie moich dotychczasowych badań nad atlantyfikacją oraz zmianami paleośrodowiskowymi w Arktyce, przenosząc wypracowane podejście badawcze do systemu Morza Bałtyckiego. Jego celem jest rekonstrukcja wpływu katastrofalnych odpływów wód z jezior proglacialnych na środowisko Morza Bałtyckiego oraz północnego Atlantyku i europejskiej Arktyki z wykorzystaniem wielowskaźnikowych analiz osadów morskich. Projekt integruje moje wcześniejsze doświadczenia zdobyte podczas badań paleoceanograficznych w Arktyce z doświadczeniem w zakresie geologii Morza Bałtyckiego, rozwijanym od początku kariery naukowej. Badania realizowane są we współpracy z prof. Anttim Ojalą z University of Turku, światowej klasy specjalistą w zakresie geologii czwartorzędu i jezior proglacialnych, co dodatkowo wzmacnia międzynarodowy charakter projektu.

Na mój dorobek naukowy składa się **28 artykułów** opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science, z czego w **7 jestem pierwszym i/lub**

korespondencyjnym autorem. Łączna liczba cytowań wynosi 435 (356 bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 13 (stan na 01.10.2026). **Sumaryczny Impact Factor publikacji wynosi 105.413, a łączna liczba punktów MNiSW- 3250.** Wyniki badań prezentowałam na licznych konferencjach międzynarodowych (m.in. ICP, FORAMS, EGU, Ocean Sciences Meeting), a także pełniłam rolę recenzenta w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym.

Od 2022 roku pełnię funkcję kierownika Pracowni Sedymentologii, Stratygrafii i Mikropaleontologii w Zakładzie Paleoceanografii Instytutu Oceanologii PAN. Odpowiadam za organizację pracy laboratorium, rozwój infrastruktury badawczej oraz koordynację prac zespołu. W ramach tej działalności pozyskałam środki na zakup aparatury badawczej (GC-FID, SEM-EDS, CHNS) oraz rozwój nowych metod analitycznych.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Moja aktywność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska rozpoczęła się wraz z podjęciem studiów doktoranckich w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk i od tego czasu stanowi istotny, komplementarny element mojej działalności naukowej. Już na wczesnym etapie kariery angażowałam się w inicjatywy popularyzujące naukę, stopniowo rozszerzając zakres tej aktywności od działań lokalnych po współorganizację wydarzeń o charakterze międzynarodowym.

W latach 2010-2021 byłam związana z Sopotkim Towarzystwem Naukowym, gdzie w latach 2011-2019 pełniłam funkcję członka zarządu (skarbnik). W tym okresie współtworzyłam i rozwijałam cykliczne inicjatywy popularyzujące naukę, w tym spotkania w ramach Kawiarni Naukowej w Sopocie oraz konferencję dla młodych naukowców „Dokąd zmierza świat?“, która z czasem przekształciła się w wydarzenie o charakterze międzynarodowym (International Sopot Youth Conference). W działalności tej pełniłam również funkcje związane z organizacją programu naukowego w obszarze nauk ścisłych i przyrodniczych.

Równolegle prowadziłam intensywną działalność edukacyjną skierowaną do dzieci i młodzieży. Od początku studiów doktoranckich uczestniczyłam w organizacji Pikników Naukowych w Sopocie, gdzie przygotowałam i prowadziłam stanowisko „Paleontolog Detektywem”, popularyzujące zagadnienia geologii i paleontologii Morza Bałtyckiego. W latach 2012-2017 realizowałam cykl warsztatów geologicznych we współpracy z Fundacją Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego oraz Fundacją Pankracy, a także zajęcia edukacyjne w

ramach projektu South Baltic WebLab (2010-2013), skierowanego do uczniów z regionu południowego Bałtyku.

Doświadczenie organizacyjne rozwijałam poprzez współorganizację konferencji i warsztatów naukowych. W 2012 roku współorganizowałam IV Ogólnopolską Konferencję „Młodzi w Paleontologii”, integrującą środowiska paleontologiczne i oceanograficzne, w tym przygotowanie części terenowej wydarzenia (Borszcz i Łacka, 2012). W kolejnych latach uczestniczyłam w organizacji wydarzeń międzynarodowych, m.in. konferencji „Societal relevance of polar research” (2018) oraz warsztatów ART-APECS Science Workshop (2015), gdzie pełniłam rolę członka komitetu organizacyjnego oraz lidera grupy opracowującej publikację przeglądową dotyczącą procesów sedymentacyjnych w Arktyce (Wegner i in., 2015). Byłam również zaangażowana w prowadzenie sesji tematycznych na konferencjach międzynarodowych, m.in. podczas International Sopot Youth Conference (2011-2019), PAST Gateways Conference (2015) oraz Arctic Science Summit Week (2017).

W latach 2018-2020 uczestniczyłam w pracach międzynarodowej grupy roboczej SIOS Science Optimisation Advisory Group, działającej w ramach infrastruktury badawczej Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS). Moja aktywność obejmowała współudział w przygotowaniu raportów syntetyzujących wyniki badań prowadzonych na Svalbardzie oraz ocenę merytoryczną projektów badawczych aplikujących o dostęp do infrastruktury SIOS.

Istotnym elementem mojej działalności jest kształcenie młodej kadry naukowej. Pełniłam funkcję promotora pomocniczego w przewodach doktorskich (Natalia Szymańska, 2022; Dhanushka Devendra, 2024; Prasadi De Silva- od 2025), a także promotora pracy magisterskiej realizowanej w ramach programu Erasmus Mundus (Prasadi De Silva, 2025). Równolegle sprawowałam opiekę nad studentami i stażystami, prowadząc zajęcia praktyczne oraz nadzorując realizację staży krajowych i międzynarodowych, wspierając ich rozwój badawczy i kompetencje analityczne.

Moja działalność popularyzatorska obejmuje również liczne wykłady i wydarzenia skierowane do szerokiego grona odbiorców, w tym wykłady popularnonaukowe, warsztaty oraz inicjatywy łączące naukę z kulturą. W 2015 roku współorganizowałam wystawę fotograficzną „Kadry”, prezentującą badania w rejonach polarnych, a w kolejnych latach współtworzyłam wydarzenia popularyzujące kulturę i naukę krajów nordyckich (Nordic Focus Festival, Nordic Talking).

Uzupełnieniem tej działalności była również inicjatywa popularnonaukowa „Moods of Scandinavia”, w ramach której łączyłam popularyzację wiedzy o krajach skandynawskich z elementami nauk o środowisku, w tym koncepcją „friluftsliv”, przyczyniając się do

upowszechniania wiedzy o relacji człowieka ze środowiskiem w ujęciu północnoeuropejskim. Dodatkowo zajmuję się również komunikacją medialną działań naszego zakładu, prowadząc profil w mediach społecznościowych (<https://www.facebook.com/NEEDEDIOPAN>), który śledzi 403 osób (stan na 01.10.2026).

Pełną listę aktywności dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę przedstawiam poniżej:

Działalność organizacyjna:

2012: współorganizacja IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Młodzi w Paleontologii” w IO PAN w Sopocie (76 naukowców z 14 ośrodków krajowych i zagranicznych), prowadzenie warsztatów terenowych i prezentacji odsłoneń geologicznych.

2015: ART-APECS Science Workshop „Overcoming challenges of observation to model integration in Arctic marine ecosystem response to sea ice transitions”, liderka grupy roboczej ds. paleoceanografii, współautorka przeglądowej pracy naukowej w Polar Research.

2015: prowadzenie sesji podczas PAST Gateways Conference, Poczdam.

2017: prowadzenie sesji podczas Arctic Science Summit Week pt. „Climate warming effects on organism size and growth rate in the Arctic systems- from past records to future consequences”.

2018-2020: członek grupy roboczej SIOS Science Optimisation Advisory Group, koordynacja corocznych raportów SIOS oraz ocena wniosków SIOS Access Call.

2018: członek komitetu organizacyjnego konferencji „Societal relevance of polar research” w IO PAN w Sopocie (uczestnicy: naukowcy, pisarze, politolodzy związani z rejonami polarnymi).

Działalność popularyzująca naukę:

2026: stoisko mikropaleontologiczne na pikniku naukowym zorganizowanym przez Szkołę Podstawową nr 48 im. prof. Demela w Gdyni

2026: spotkanie popularnonaukowe dla Przedszkola Tęcza Montessori w Gdańsku pt. „Praca paleoceanografa w Arktyce”.

2019: wykład popularnonaukowy w ramach Kawiarni Naukowej (IO PAN, STN, Hotel Rezydent) pt. „Jak klimat kształtował historię- od początków rolnictwa do wojny domowej w Syrii”.

2017: wykłady pt. „Tajemnice Arktyki” w Instytucie Neofilologii UG i w szkole języków skandynawskich Trolltunga (projekt DWARF).

2016: wykład popularnonaukowy dla dzieci szkolnych w Teatrze Atelier w Sopocie (geologia Morza Bałtyckiego).

2015: letnie warsztaty z geologii i paleontologii na plaży w Sopocie (Fundacja Pankracy).

2015: współorganizacja wernisażu zdjęć z badań polarnych pt. „Kadry”, Krzywy Domek, Sopot.

2012-2017: warsztaty geologiczne dla uczniów w ramach współpracy z FRUG.

2012-2019: udział w organizacji konferencji International Sopot Youth Conference

Działalność dydaktyczna:

Promotor pomocniczy doktorantów:

- **Mgr Prasadi De Silva** (od października 2025, Międzynarodowa Środowiskowa Szkoła Doktorska).

Tytuł rozprawy doktorskiej: „From Proglacial Lake Outbursts to Anthropogenic Pressure: Holocene Evolution of the Baltic Sea Recorded in Microfossil Assemblages”

Promotor główny: prof. Marek Zajączkowski

Promotor pomocniczy: **dr Magdalena Łacka-Wojciechowska**

- **Dr Dhanushka Devendra** (2020-2024, Trójmiejska Szkoła Doktorska; obrona 17.12.2024)

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Late-glacial and Holocene Paleoceanographic Changes in the European Arctic Based on a Multiproxy Approach”

Promotor główny: prof. Marek Zajączkowski

Promotor pomocniczy: **dr Magdalena Łacka-Wojciechowska**

- **Dr Natalia Szymańska** (2016-2022, Studium Doktoranckie przy Instytucie Oceanologii PAN; obrona 15.12.2022)

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Udział otwornic w puli węgla osadów fiordów Europy Północnej i Svalbardu”

Promotor główny: prof. Marek Zajączkowski

Promotor pomocniczy: **dr Magdalena Łacka-Wojciechowska**

Promotor główny pracy magisterskiej:

- **Mgr Prasadi De Silva** (2025; program Erasmus Mundus, Uniwersytet Narodowy im. Kapodistriasa w Atenach, Uniwersytet Lille, Francja)
Tytuł pracy magisterskiej: „Grain-Size Analysis of Holocene Sediments from Kveithola Trough, Southern Svalbard: Implications for Post-Deglaciation Environmental Dynamics”.

Promotor główny: **dr Magdalena Łacka-Wojciechowska**

Opieka nad studentami:

2025: Gabriela Dobies, Adam Strelau, Tymoteusz Brakowski (UG, po 60 h każdy)

2019: Karolina Rucińska, Mateusz Dąbrowski (UAM, 6 miesięcy w ramach projektu GEOLOG II)

2018: Dominika Hetko, Damian Borowiec (UG, 120 h każdy), Karolina Rogowska (UAM, 6 miesięcy, projekt Geolog II)

2014: Aleksandra Mierzejewska (UG, 60 h)

2013: ekspert geologii Morza Bałtyckiego w programie WebLab (zajęcia online dla uczniów).

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Przerwy w karierze naukowej:

Maj-grudzień 2021: urlop macierzyński

Maj 2023-maj 2024: urlop macierzyński

Nagrody, wyróżnienia, stypendia:

- Nagroda za najlepszą prezentację posterową na konferencji Arctic Frontiers, Tromsø, Norwegia, 2011
- Nagroda Dyrektora IOPAN za wybitną działalność publikacyjną, 2016
- Stypendium zagraniczne finansowane przez Research Council of Finland, 2015
- Stypendium naukowe Dyrektora IOPAN dla najlepszych doktorantów, 2013 i 2012

Kierowanie grantami badawczymi:

- Wieloskaźnikowa rekonstrukcja sygnatur bałtyckich jezior proglacialnych oraz wpływu ich wylewów na klimat we wczesnym holocenie (**FINGER**), 2026-2030, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu **OPUS**, numer projektu: 2025/59/B/ST10/02536. Rola: **Kierownik projektu**, budżet: 1 106 448 PLN.
- Ocena wpływu atlantyfikacji na migrację ciepłolubnych gatunków otwornic do Arktyki Europejskiej w trakcie holocenu (**ACCESS**), 2023-2027, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu **OPUS**, numer projektu: 2022/45/B/ST10/02033. Rola: **Kierownik projektu**, budżet: 899 903 PLN.
- The spatial distribution and biodiversity of modern foraminifera and the isotopic composition of Storfjorden environment, East Spitsbergen (**HIGHWAY**), 2012-2015, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie w ramach konkursu **PRELUDIUM**, numer projektu: 2012/05/N/ST10/03696. Rola: **Kierownik projektu**, budżet: 141 700 PLN.
- Sedimentary ancient DNA- a new proxy to investigate the impact of environmental change on past and present biodiversity in Nordic Seas (**NEEDED**), 2020-2024, finansowany przez EEA and Norway Grants, numer projektu: 2019/34/H/ST10/00682. Rola: **Kierownik Work Package 2**, budżet: 1 399 684 EUR.

Udział w grantach badawczych:

- Present and past climate change impacts on Norwegian fjord ecosystems (**PASTIME**), 2024-2027, finansowany przez The Research Council of Norway, Lider: Agnes Weiner, Project Number: 343238. Rola: **Wykonawca**.
- Sedimentary ancient DNA- a new proxy to investigate the impact of environmental change on past and present biodiversity in Nordic Seas (**NEEDED**), 2020-2024, finansowany przez EEA and Norway Grants, 2019/34/H/ST10/00682. Rola: **Lider WP2**.
- Multiproxy analysis of the sea surface temperature impact on primary productivity of the western and northern Svalbard shelf in the Holocene (**ALKENON**), 2020- 2024, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie, 2019/33/B/ST10/00297. Rola: **Główny wykonawca**.
- The Holocene history of Greenland Gyre (**WIR**), 2017-2020, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie, 2016/21/B/ST10/02308. Rola: **Główny wykonawca**.

- Ciepłe i zimne okresy późnego holocenu w Arktyce europejskiej. Paleogenetyczny zapis zmian środowiska morskiego w osadach fiordu Hornsund (Spitsbergen, Svalbard) (**WARMPAST**), finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie, 2013/11/B/ST10/00276. Rola: **Wykonawca**.
- Declining size- a general response to climate warming in Arctic fauna? (**DWARF**), 2014, Pol-Nor/201992/93/2014, finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Rola: **Wykonawca**.
- Quantifying climate variability since Late-glacial in Southern Svalbard (**QUAL**), 2012-2016, finansowany przez Academy of Finland. Rola: **Stypendysta**.
- Effects of Ocean Chemistry Changes on Planktic Foraminifera in the Fram Strait: Ocean Acidification from Natural to Anthropogenic Changes (**OAFS**), finansowany przez Research Council of Norway, Project No. 216538. Rola: **Wykonawca**.
- Advection of Atlantic Waters to the European part of the Arctic in Holocene: Paleoceanographic record of fluctuations in West Spitsbergen Current (**PALECURR**), N N306 469938, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie. Rola: **Główny wykonawca**.

Uzyskane finansowanie:

- Centrum Studiów Polarnych KNOW- dofinansowanie wyjazdu zagranicznego na konferencję 2nd International Meeting of Early-Stage Researchers in Palaeontology, 2017.
- Centrum Studiów Polarnych KNOW- dofinansowanie wyjazdu zagranicznego na konferencję PAST Gateways, 2016.
- Dotacja Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku na zorganizowanie stoiska podczas XII Bałtyckiego Festiwalu Nauki, 2014, budżet: 9 000 PLN.
- The Geological Society travel & accommodation grant- „Holocene Climate Change Conference”, Burlington House, Londyn, UK, 2013, budżet: 350 GBP.
- PAGES and SCORE travel & accommodation grant- „11th International Conference on Paleoceanography”, Barcelona, Hiszpania, 2013, budżet: 500 EUR.
- Dotacja Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku na zorganizowanie IV Ogólnopolskiej Konferencji „Młodzi w Paleontologii”, 2012, budżet: 6 000 PLN.

- The Young Scientist Forum travel & accommodation grant- konferencja Arctic Frontiers, Tromsø, Norwegia, 2011, budżet: 2 200 NOK.

Recenzowanie artykułów naukowych:

8 recenzji, w tym dla czasopism Geology, Quaternary Science Reviews, Journal of Marine Systems, Regional Science in Marine Systems, Marine Micropaleontology, Polar Research, Marine Biodiversity, Thalassas.

Przynależność do naukowych organizacji:

- Od 2015: Członek International Association of Sedimentologists.
- 2018-2020: Udział w pracach grupy roboczej SIOS Science Optimisation Advisory Group.
- 2011-2019: Członek zarządu Sopotkiego Towarzystwa Naukowego, stanowisko Skarbnika.
- 2011-2014: Członek Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN jako przedstawiciel doktorantów.
- 2011-2012: Przewodniczący Samorządu Doktorantów Instytutu Oceanologii PAN.
- 2011-2015: Członek The Cushman Foundation for Foraminiferal Research
- 2010-2015: Członek APECS (Association of Polar Early Career Scientists) oraz APECS Polska.

Kursy i certyfikaty:

2011

- Międzynarodowe warsztaty doktoranckie „Marine biodiversity under change”, organizowane równolegle z konferencją Arctic Frontiers, Young Scientist Forum oraz szkołą doktorską ARCTOS (Svolvær/Lofoty, Norwegia)
- Kurs doktorski „Climate modeling in the Arctic- the prediction of changes in the last 30 years”, Nansen Environmental and Remote Sensing Centre (Longyearbyen, Svalbard)
- Kurs doktorski „Polar Marine Sedimentary Environments”, University of Tromsø (Tromsø, Norwegia)
- Kurs dotyczący otwornic planktonicznych rejonów arktycznych, prowadzony przez dr Katarzynę Zamelczyk (Tromsø, Norwegia)
- Kurs statystyczny, Instytut Oceanologii PAN (Sopot, Polska)
- Patent sternika motorowodnego (Gdynia, Polska)

- Certyfikaty nurkowe CMAS *, w tym nurkowanie w suchym skafandrze i z użyciem mieszaniny nitroksowej (Gdynia, Polska)

2010

- Warsztaty „Polar Sedimentary Processes and Archives” (Loughborough, Wielka Brytania)
- Kurs z zakresu zarządzania projektami naukowymi (panel naukowy Innopomerania, Polska)
- Wolontariat podczas konferencji Arctic Frontiers (Tromsø, Norwegia)

2008

- Warsztaty z zakresu systemów informacji geograficznej (GIS), GIScience Laboratory, Instytut Oceanografii (Gdynia, Polska)

Działalność w zakresie ewaluacji projektów naukowych

- 2016-2020: Ekspert w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014–2020 w obszarach „Potencjał B+R i wdrożeniowy uczelni i jednostek naukowych” oraz „Ochrona przyrody”.
- 2018-2020: Udział w ocenie wniosków w konkursie SIOS Access Call w ramach Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS).

Redakcja naukowa:

Borszcz T., Łącka M. (red.), 2012 – „Paleontologia w oceanografii, oceanografia w paleontologii”, materiały konferencyjne (w języku polskim), IV Ogólnopolska Konferencja Młodych Paleontologów, Sopot.

Magdalena Łącka- Wojciechowska

Elektronicznie podpisany przez
Magdalena Łącka-Wojciechowska
Data: 2026.10.01 22:50:43 +02'00'

.....

(podpis wnioskodawcy)

Summary of Professional Accomplishments

1. **Name:** Magdalena Łacka-Wojciechowska

2. **Diplomas, degrees conferred in specific areas of science or arts, including the name of the institution which conferred the degree, year of degree conferment, title of the PhD dissertation**

- PhD in Earth Sciences (Oceanology), Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, Sopot, 2016.

Dissertation title: “An interplay between sea ice and thermohaline circulation during the Younger Dryas- a multiproxy record of paleoceanographic changes in the European Arctic”

Supervisor: Prof. Marek Zajączkowski

The public defense was held on October 27, 2016, and the PhD degree was awarded by the Scientific Council of the Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, on November 8, 2016.

- MSc in Oceanography (Marine Geology specialization), University of Gdańsk, Faculty of Oceanography and Geography, 2010.

Master’s thesis title: “Assessment of contemporary changes in hydrological conditions in Hornsund Fjord (Spitsbergen) based on benthic foraminiferal assemblages.”

Supervisor: Prof. Marek Zajączkowski

3. **Information on employment in research institutes or faculties/departments or school of arts**

- Since 2022: Head of the Laboratory of Sedimentology, Stratigraphy and Micropaleontology, Department of Paleooceanography, Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences
- Since March 2018: Assistant Professor, Department of Paleooceanography, Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences

- 2010-2017: PhD student, Department of Marine Ecology, Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences
- 2016-2020: Expert in the Regional Operational Programme for Lower Silesia 2014–2020 (fields: R&D potential and implementation capacity of universities and research institutions; Nature protection)
- November-December 2015: Research internship, Institute of Environmental Science and Technology, Universitat Autònoma de Barcelona, Spain
- January-March 2013: Research internship, Department of Geology, UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway

4. [Description of the achievements, set out in art. 219 para 1 point 2 of the Act](#)

Title of the achievement:

The role of Atlantification in shaping environmental variability in the North Atlantic and the European Arctic from the last deglaciation to the present

List of publications constituting the scientific achievement:

O1. Łacka, M., Zajączkowski, M., Forwick, M., Szczuciński, W., 2015: Late Weichselian and Holocene paleoceanography of Storfjordrenna, southern Svalbard, *Climate of the Past*, 11, 587–603.

My contribution to this work included: development of the research concept, conducting laboratory analyses (micropaleontological and sedimentological), data processing and interpretation, literature review and selection, preparation of figures and tables, manuscript preparation and editing, and consultation with co-authors.

O2. Łacka, M., Cao, M., Rosell-Melé, A., Pawłowska, J., Kucharska, M., Forwick, M., Zajączkowski, M., 2019: Postglacial paleoceanography of the western Barents Sea:

Implications for alkenone-based sea surface temperatures and primary productivity, *Quaternary Science Reviews*, 224, 105973.

My contribution to this work included: development of the research concept, conducting laboratory analyses (alkenone analysis), data processing and interpretation, literature review and selection, preparation of figures and tables, manuscript preparation and editing, and consultation with co-authors.

O3. Łacka M., Michalska D., Pawłowska J., Szymańska N., Szczucinski W., Forwick M., Zajączkowski M., 2020: Multiproxy paleoceanographic study from the western Barents Sea reveals dramatic Younger Dryas onset followed by oscillatory warming trend. *Scientific Reports*, 10, 15667.

My contribution to this work included: securing funding for the research, development of the research concept, participation in the construction of the age model, conducting laboratory analyses (alkenone, micropaleontological, and geochemical analyses), data processing and interpretation, literature review and selection, preparation of figures and tables, manuscript preparation and editing, and consultation with co-authors.

O4. Devendra, D., Łacka, M., Szymańska, N., Szymczak-Żyła, M., Krajewska, M., Weiner, A. K. M., De Schepper, S., Simon, M. H., Zajączkowski, M., 2023: The development of ocean currents and the response of the cryosphere on the Southwest Svalbard shelf over the Holocene. *Global and Planetary Change*, 228, 104213.

My contribution to this work included: securing funding for the research, development of the research concept, participation in fieldwork, construction of the age model, conducting laboratory analyses (lithological description, micropaleontological and sedimentological analyses), data interpretation, literature review and selection, and manuscript editing. I also served as a scientific supervisor (auxiliary supervisor of the PhD thesis of Dr. Dhanushka Devendra, of which this article forms a part), providing substantive guidance and overseeing the development of the research concept and methodology.

O5. Kujawa, A., Łacka, M., Szymańska, N., Pawłowska, J., Telesiński, M. M., Zajączkowski, M., 2021: Could Norwegian fjords serve as an analogue for the future of the Svalbard fjords? State and fate of high latitude fjords in the face of progressive “atlantification”. *Polar Biology*, 44 (12), 2217-2233.

My contribution to this work included: securing funding for the research, development of the research concept, participation in fieldwork, data processing and interpretation, substantive supervision of laboratory work, scientific supervision of the PhD student (Dr. Natalia Szymańska), literature review and selection, preparation of figures and tables, acquisition of photographic and SEM documentation of the studied organisms, manuscript preparation and editing, and consultation with co-authors.

O6. Łacka, M., Devendra, D., Szymczak-Żyła, M., Lubecki, L., Krajewska, M., Telesiński, M. M., Szymańska, N., Thorsteinsson, B. B., Mortensen, L., Zajączkowski, M. Anthropogenic and climatic impacts on sedimentation and pollution in Faroese fjords over the past century: A multi-proxy approach from Hvannasund and Skálafjørður. Anthropocene.

My contribution to this work included: securing funding for the research, development of the research concept, participation in fieldwork, construction of the age model, conducting laboratory analyses (lithological description and sedimentological analysis), data processing and interpretation, literature review and selection, and manuscript preparation and editing.

Bibliometric data of publications constituting the achievement:

Publication number	Journal	Year	IF*	MNiSW points**	Citations number***
O1.	Climate of the Past	2015	3.368	100	35
O2.	Quaternary Science Reviews	2019	3.803	140	18
O3.	Scientific Reports	2020	4.379	140	9
O4.	Global and Planetary Change	2023	4	140	7
O5.	Polar Biology	2021	2.198	70	12
O6.	Anthropocene	2026	3.9	100	0
			Σ21.648	Σ690	Σ90

*IF in the year of publication

**according to the annex to the communication of the Polish Ministry of Education and Science of 5 January 2024

***according to the Scopus database accessed on 01.10.2026

Discussion of the scientific objectives and results of the works constituting the habilitation achievements:

Introduction, background and research gap

Contemporary climate change is particularly pronounced in the Arctic, where, due to so-called Arctic amplification, the rate of temperature increase is more than twice the global average (He et al., 2024; Screen et al., 2025). One of the key processes responsible for these changes is the increased inflow of warm and saline Atlantic waters into the Nordic Seas and the Arctic Ocean, referred to as Atlantification (e.g., Polyakov et al., 2017; Årthun et al., 2025). This process leads to a range of environmental consequences, including a reduction in sea ice cover, changes in sedimentation seasonality (Weydmann et al., 2021), reorganization of trophic structures, and biogeographical shifts in marine organisms (Ingvaldsen et al., 2021; Descamps et al., 2026).

At the same time, Atlantification directly affects the biological functioning of the ocean, including primary production and the efficiency of organic matter transfer to the seafloor. On the one hand, reduced sea ice cover and an extended growing season may enhance primary production; on the other hand, increased stratification of the water column and reduced vertical mixing may limit nutrient availability in the euphotic zone (e.g., Popova et al., 2010; Slagstad et al., 2011). As a result, ecosystem responses to Atlantification may be complex and strongly dependent on local hydrographic conditions.

A particularly important, yet still poorly understood aspect is the impact of Atlantification on the burial of organic carbon in marine sediments. Changes in productivity, plankton community structure, and sedimentation dynamics may significantly affect both the quantity and quality of organic matter reaching the seafloor, thereby influencing the efficiency of long-term carbon storage in shelf and fjord systems. Despite a growing number of modern studies (e.g., Smith et al., 2015; Cui et al., 2016; Szymańska, Łacka et al., 2021), clear conclusions regarding the direction and magnitude of these changes, particularly in a long-term context, are still lacking.

In a broader perspective, Atlantification represents one of the key processes influencing the stability of the North Atlantic circulation system under ongoing climate warming. Of particular importance is the balance between the increasing advection of warm, saline Atlantic waters and the growing input of freshwater from melting glaciers and ice sheets, which may lead to a weakening of the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC; e.g., Rahmstorf et al., 2015; Ditlevsen et al., 2023). Observations indicate that both processes are

currently occurring simultaneously; however, their interactions and system thresholds remain poorly constrained (e.g., IPCC, 2023).

Despite intensive research on contemporary Atlantification, a significant knowledge gap remains regarding its long-term variability. In particular, it has been unclear whether Atlantification is solely a modern, anthropogenically driven phenomenon, or whether it represents a natural component of the climate-ocean system variability present in the geological past. Furthermore, the feedback mechanisms between Atlantic water inflow, cryosphere dynamics, and marine ecosystem functioning, including primary production and carbon sequestration, remain insufficiently understood at larger spatial and temporal scales.

The role of freshwater input during deglaciation is also of particular importance, as it may lead to destabilization of the AMOC, a key component of the global climate system. Understanding the relationship between Atlantification and potential AMOC weakening requires high-resolution paleoceanographic records.

Motivation and research objectives

The motivation behind this research was the need to understand the long-term variability of oceanic processes in the North Atlantic and Arctic regions and to assess their significance for contemporary climate change. A key assumption was that marine sediment records serve as archives of environmental change, enabling reconstruction of past conditions and identification of analogues for processes observed today.

The main scientific objective of the presented achievements was to demonstrate the role of Atlantification in shaping marine environmental variability from the last deglaciation to the present, and to determine its impact on ocean circulation, the cryosphere, and marine ecosystem functioning.

This objective was addressed through three complementary research directions:

- reconstruction of variability in Atlantic water inflow and Arctic Front migration based on paleoceanographic records (O1, O2, O3, O4, O6),
- assessment of the impact of Atlantification on biological productivity and water column structure (O2, O4, O6),
- identification of ecosystem responses in marine and fjord systems to ongoing Atlantification, both in the past and at present (O1-O6).

In this context, a fundamental limitation of modern observations is their short temporal scope, which prevents capturing the full range of natural variability. Paleoceanographic archives therefore play a crucial role, allowing reconstruction of ocean–cryosphere system responses to analogous perturbations in the past, particularly during periods of intense deglaciation and the Holocene Climate Optimum.

The aim of the research was thus to quantitatively and mechanistically reconstruct Atlantification variability and its consequences for biological productivity, ocean circulation, and marine ecosystem functioning in the North Atlantic-European Arctic system, based on high-resolution sedimentary records and their comparison with modern processes.

Results obtained

The first publication (O1) constitutes the foundation of the habilitation achievements, establishing both the methodological framework and the main interpretative axis concerning the role of Atlantification in shaping the European Arctic environment. The study was conducted in the Storfjordrenna region- a transitional zone between cold, less saline Arctic waters of the Barents Sea and warm, saline Atlantic waters-representing an area particularly sensitive to changes in AMOC functioning. The selection of this site was based on its key role in recording variability in Atlantic water inflow to the Arctic and in enabling paleoceanographic analyses of this system.

The innovative character of this study resulted from the integration of detailed lithological analysis, micropaleontological investigations, and X-ray fluorescence (XRF) scanning, which at the time of publication constituted one of the first such comprehensive environmental reconstructions in this region. This level of detail enabled the identification of five lithological units and their precise assignment to successive stages of deglaciation and the development of oceanographic conditions during the Holocene.

A key result of this study was the identification of the transition from a system dominated by Arctic waters to one controlled by the inflow of Atlantic waters, interpreted as the migration of the Arctic Front across the Storfjordrenna area. This shift is clearly expressed in both the isotopic record ($\delta^{18}\text{O}$) and the composition of foraminiferal assemblages at the end of the early Holocene (ca. 10-9.6 ka BP), when isotopic values shift towards those characteristic of warmer and more saline water masses, accompanied by an increase in species associated with Atlantic waters.

In the earlier period (Late Pleistocene and early Holocene), the record indicates the dominance of Arctic waters, strong influence of meltwater input, and the presence of sea ice cover, reflected in low foraminiferal biodiversity and high variability of sedimentological proxies. At that time, the Arctic Front was located west of the study area, and Storfjordrenna remained under the influence of Barents Sea water masses.

The gradual eastward migration of the polar front during the early Holocene led to a fundamental reorganization of the oceanographic system. Around 9.6 ka BP, a persistent transition to Atlantic-dominated conditions was recorded, reflected in stabilization of the isotopic record, increased faunal diversity, and the appearance of indicator species associated with warm, well-oxygenated bottom waters. This moment can be interpreted as the onset of pronounced Atlantification in this sector of the Arctic.

During the Holocene Climate Optimum (ca. 9.2-3.6 ka BP), oceanographic conditions remained relatively stable, indicating sustained dominance of Atlantic waters and reduced influence of Arctic waters and glacial processes. At the same time, episodic increases in ice-rafted debris (IRD) suggest that even under strong Atlantification, the system remained sensitive to short-term climatic fluctuations and changes in glacier dynamics.

In the late Holocene, a partial weakening of Atlantic water influence occurred in surface layers, while it persisted in deeper parts of the water column, indicating a change in vertical structure rather than a complete reorganization of the oceanographic system.

An important aspect of this publication is that the analyzed sediment core provided the basis for subsequent studies expanding the interpretation of Atlantification using new proxies. The material was used not only in the studies forming part of this achievement (O2 and O3), but also in research developing new proxy approaches, including:

- Telesiński et al., 2020- the use of foraminiferal size as a climate proxy,
- Telesiński, Kucharska, Łacka and Zajączkowski, 2024- reconstruction of sea ice cover based on dinoflagellate cyst assemblages,
- Nethupul, Łacka et al., 2026- application of sedimentary ancient DNA (sedaDNA) for ecosystem reconstruction.

In summary, this publication provided the first clear evidence of the timing and mechanism of Arctic Front migration in the western Barents Sea, documenting the onset of Atlantic water dominance as a key factor shaping the environment of this region. These results constitute a starting point for subsequent studies that examine the consequences of this shift for productivity, ecosystem structure, and ocean system functioning under ongoing Atlantification.

The second study (O2) presents, for the first time in the western Barents Sea, a continuous ~14,000-year record of sea surface temperature (SST) based on alkenone analysis ($U_k'_{37}$), complemented by indicators of Arctic water dominance ($\%C_{37:4}$) and primary productivity (total alkenone concentration).

During the Bølling-Allerød, SST values ranged between 2-5°C, similar to modern conditions, indicating a significant contribution of Atlantic waters already during deglaciation. At the same time, high $\%C_{37:4}$ values and low alkenone concentrations indicate the dominance of diluted Arctic waters and low productivity associated with strong meltwater input and pronounced stratification.

The onset of the Younger Dryas (~12.8 ka BP) is marked by an almost complete disappearance of the alkenone signal, interpreted as the result of persistent sea ice cover and cessation of primary production. In the later phase, a gradual return of the Atlantic signal and high SST variability indicate unstable water mass conditions.

The most pronounced reorganization occurred at the beginning of the Holocene, when SST reached values up to ~10°C and $\%C_{37:4}$ decreased, indicating a stable dominance of Atlantic waters and a shift of the Arctic Front. Despite high temperatures, primary productivity remained relatively low, likely due to reduced vertical mixing and limited nutrient supply. These results demonstrate that Atlantification leads not only to warming but also to reorganization of the productivity system through changes in stratification and a northward shift of high-productivity zones. This provides an important analogue for modern changes, suggesting that continued warming and sea ice loss may lead to decreased productivity in the western Barents Sea despite increasing temperatures.

The third study (O3) focuses on a high-resolution reconstruction of environmental changes during the Younger Dryas in the western Barents Sea, with particular emphasis on the relationship between freshwater input, AMOC variability, and the limitation or reorganization of Atlantification. The results clearly show that the transition from the Bølling-Allerød interstadial to the Younger Dryas (~12.8 ka BP) was abrupt and threshold-like. This is reflected in the sediment record by the disappearance of benthic and planktonic foraminiferal assemblages and a decrease in IRD content, indicating rapid environmental deterioration. At the same time, a massive occurrence of vivianite microconcretions (~10,500-11,800 per gram of sediment) was recorded, indicating anoxic bottom conditions. This represents the first documented occurrence of vivianite microconcretions in marine sediments of the European Arctic and only the second such observation in Arctic marine sediments overall.

These findings suggest that at the onset of the Younger Dryas, a multi-year sea ice cover developed, effectively preventing air-sea gas exchange for several decades. These conditions resulted from a strong reduction in Atlantic water inflow, indicating a significant disruption of AMOC. This provides direct evidence that reduced Atlantification may be linked to enhanced freshwater input into the North Atlantic.

After this extreme phase, a partial recovery of Atlantic inflow occurred, but it was subsurface and weaker than during the Bølling-Allerød. This is reflected in the appearance of opportunistic foraminiferal species and gradual increases in abundance, alongside persistent seasonal sea ice cover, indicating a transitional and unstable system state.

One of the key findings is that the Younger Dryas was not a uniform period but exhibited pronounced oscillatory variability. Alternating warm and cold phases are recorded, associated with changes in SST, IRD transport, and foraminiferal assemblages. Warm phases correspond to improved bottom water ventilation and increased Atlantic inflow, whereas cold phases reflect renewed restriction of Atlantification.

A particularly important result is the identification of an anti-phase relationship between temperature changes in the western Barents Sea and the central Baffin Bay. Periods of cooling and reduced Atlantic influence in Storfjordrenna correspond to warming in Baffin Bay, and vice versa. This pattern is likely related to the closure of the Bering Strait, which limited freshwater outflow to the Pacific, forcing export through the Fram Strait and reorganizing North Atlantic circulation.

The final phase of the Younger Dryas (~11.15 ka BP) was characterized by abrupt warming in the study area, synchronized with continued cooling in Baffin Bay. This event was linked to the opening of the Bering Strait and the establishment of a new pathway for freshwater outflow from the Arctic Ocean, which reduced freshwater accumulation in the North Atlantic and enabled the re-intensification of AMOC and the return of Atlantification.

At the same time, the sediment core record documents a Preboreal Oscillation (~11.3 ka BP), indicating a short-term, secondary weakening of AMOC due to meltwater input even after the termination of the Younger Dryas. The final stabilization of oceanographic conditions and full transition to interglacial conditions occurred only around 9.6 ka BP.

The results of this study are of key importance for interpreting contemporary climate change. They demonstrate that the North Atlantic system operates as a highly nonlinear system, in which increased freshwater input may lead to abrupt weakening of AMOC and simultaneous reduction of Atlantification in Arctic regions. They also indicate that the recovery of circulation may occur in a stepwise manner, in response to reorganization of freshwater pathways.

In the context of ongoing climate warming, where both intensified Atlantification and increased freshwater input from the melting Greenland Ice Sheet are observed, these results provide an important process-based analogue, highlighting the potential risk of AMOC destabilization and associated abrupt climate changes.

The fourth publication (O4) constitutes a key link between the late-glacial record and the long-term evolution of Atlantification during the Holocene. Based on a multiproxy analysis of the HR07 core (SW Svalbard), variability in oceanographic conditions, sea ice dynamics, and changes in water column structure over the last ~11,500 years were reconstructed.

The results clearly indicate that the early Holocene (11-10.2 ka BP) was characterized by a strong dominance of Arctic waters transported by the East Spitsbergen Current, leading to the development of extensive sea ice cover and reduced biological productivity. This period was associated with the Preboreal Oscillation and interpreted as a consequence of temporary weakening of AMOC. These findings directly support the main theme of the achievement, demonstrating that reduced Atlantification was closely linked to large-scale reorganization of ocean circulation in the North Atlantic.

The subsequent rapid warming (~10 ka BP) was associated with intensified inflow of Atlantic waters via the West Spitsbergen Current and marked the onset of the Holocene Climate Optimum (10-7 ka BP). This is reflected in high SST values (alkenones), absence of sea ice signals (IP₂₅), and evidence of strong bottom hydrodynamics leading to sediment erosion. During this period, the water column was dominated by Atlantic waters, indicating a maximum of Atlantification.

After ~7 ka BP, a gradual weakening of Atlantic influence is observed, reflected in the return of seasonal sea ice and increased IRD input, particularly between 6.5-3 ka BP. These changes indicate increased glacier activity and a shift of the polar front towards the shelf. At the same time, proxy data show that Atlantic waters did not disappear completely, but rather deepened and persisted below the cold Arctic surface layer, indicating a change in vertical structure of the water column.

A particularly interesting result is the identification of short-lived episodes of intensified Atlantification during the late Holocene (~2.3 and ~1.5 ka BP), expressed by increased temperatures and enhanced bottom erosion. These episodes demonstrate that even during generally cooler periods, the system remained sensitive to circulation changes and capable of rapid reorganization.

Overall, the results show that Atlantification during the Holocene was highly variable across multiple timescales, from long-term trends to short-term events, and that its intensity was closely linked to thermohaline circulation strength and freshwater balance.

In the context of the main objective of the habilitation achievements, this study provides clear evidence that modern Atlantification has analogues in the past, although its course and consequences strongly depend on the balance between Atlantic water inflow and freshwater supply.

The fifth publication (O5) represents a key extension of paleoceanographic research into the modern domain, enabling direct verification of Atlantification processes based on observations of fjord ecosystems. The aim of this study was to compare benthic foraminiferal assemblages in fjords of Svalbard and Norway, representing systems at different stages of Atlantification.

The analysis revealed relatively low similarity between the two regions (~30% based on the Bray-Curtis index), indicating substantial environmental differences despite the shared influence of Atlantic waters. Norwegian fjords are characterized by high abundances of opportunistic species such as *Bolivina robusta*, *Fursenkoina complanata*, and *Globobulimina turgida*, which prefer low-oxygen, organic-rich environments. This is interpreted as a result of strong anthropogenic pressure and eutrophication leading to hypoxic conditions.

In contrast, Svalbard fjords show clear changes in foraminiferal assemblages compared to historical data from the 1990s, indicating progressive Atlantification. The most significant finding is the first record of the Atlantic species *Melonis affinis* in Rippfjorden (northern Svalbard), previously considered a purely Arctic system. This represents direct evidence of species migration associated with Atlantic waters and restructuring of benthic communities in response to warming.

These results indicate that Atlantification of modern Svalbard fjords leads to gradual ecosystem reorganization, but not full homogenization with sub-Arctic systems. The response is modulated by local environmental conditions such as fjord morphology, freshwater input, and glacier presence. In a broader context, this study provides an important link between paleo-records and modern observations, demonstrating that processes identified in sediment records are directly reflected in contemporary ecosystem functioning.

The sixth publication (O6) constitutes the final component of the habilitation achievements, extending the analysis of Atlantification into a modern context under increasing anthropogenic pressure. Based on high-resolution sediment cores from Faroese fjords

(Hvannasund and Skálafjørður), a multiproxy reconstruction of sedimentation, productivity, and environmental contamination over the last ~100 years was performed.

A key result is the four- to fivefold increase in sedimentation rates since the 1950s-60s (from ~1.2 mm/year to ~8 mm/year), correlated with increased organic carbon accumulation (OCAR) and primary productivity. Biomarker data (phytoplankton sterols) indicate a predominantly marine origin of organic matter, with increased deposition linked to enhanced biological production.

At the same time, biomarker composition reveals clear differences between fjords, controlled by local hydrographic conditions-diatom dominance in well-ventilated Hvannasund and dinoflagellate dominance in more stratified Skálafjørður. The results demonstrate that modern Atlantification interacts with anthropogenic factors, leading to intensified organic matter cycling and increased carbon sequestration. OCAR values (up to ~75 g m⁻² yr⁻¹) place Faroese fjords among the most efficient carbon sinks in the North Atlantic.

However, increased productivity is closely linked to human activity. Rising population, infrastructure development, and limited wastewater treatment efficiency are reflected in increasing sewage biomarker concentrations, strongly correlated with demographic data (R² up to 0.72). Additional compounds (PAHs, hopanes) indicate influences of shipping, industry, and historical events, although contamination levels remain relatively low.

These findings demonstrate that modern fjord systems are shaped by coupled climatic and anthropogenic drivers. While Atlantification may enhance carbon sequestration, increased organic loading may lead to hypoxia or anoxia, as observed in Skálafjørður.

Summary of scientific achievements and their significance

The presented set of six publications constitutes a coherent and multidimensional investigation of the role of Atlantification in shaping the North Atlantic and European Arctic environment across timescales from deglaciation to the present. The key achievement is demonstrating that Atlantification is not solely a modern phenomenon but a recurring process in the Holocene, whose mechanisms and consequences can be reconstructed from high-resolution sedimentary archives.

Conceptually, this work extends the definition of Atlantification from a purely physical process to a dominant control on marine ecosystem functioning. Variability in Atlantic water inflow is shown to trigger cascading effects on water column structure, sea ice extent, primary productivity, bottom oxygenation, and benthic community composition.

The research identifies:

- the timing and mechanism of Atlantification onset in the western Barents Sea,
- its role in restructuring marine productivity and organic matter cycling,
- and its coupling with freshwater input and AMOC variability.

It further demonstrates that Atlantification is spatially heterogeneous and strongly dependent on local hydrographic and geomorphological conditions. Modern fjord studies confirm ongoing ecosystem shifts and provide direct analogues to paleo-records.

A second major contribution is the development and integration of multiproxy approaches, combining micropaleontology, geochemistry, and biomarker analyses, enabling quantitative reconstructions in regions where traditional proxies are limited.

Overall, the results indicate that although modern Atlantification has past analogues, its trajectory may diverge due to anthropogenic pressures, including nutrient enrichment and pollution.

In summary, the presented achievements contribute to Earth sciences by:

- (i) demonstrating the long-term, recurrent nature of Atlantification,
- (ii) identifying it as a key control on marine ecosystem functioning,
- (iii) revealing feedbacks between Atlantification, freshwater input, and ocean circulation,
- (iv) advancing paleoceanographic reconstruction methods,
- (v) and linking paleo-records with contemporary environmental change.

References

- Årthun, M., Brakstad, A., Dörr, J., Johnson, H.L., Mans, C., Semper, S. & Våge, K. (2025). Atlantification drives recent strengthening of the Arctic overturning circulation. *Science Advances*, 11(28), eadu1794. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adu1794>
- Cui, X., Bianchi, T. S., Savage, C., & Smith, R. W. (2016). Organic carbon burial in fjords: Terrestrial versus marine inputs. *Earth and Planetary Science Letters*, 451, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.07.003>
- Descamps, S., Jungblut, S., Yoccoz, N. G., Schlegel, R., Kovacs, K. M., Merkel, F., ... & Bischof, K. (2026). Biodiversity changes in Arctic coastal ecosystems under borealization. *PNAS Nexus*, pgag004. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgag004>
- Ditlevsen, P. & Ditlevsen, S. (2023). Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications*, 14, 4254. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39810-w>
- He, Y., Shu, Q., Wang, Q. i in. (2024). Arctic amplification of marine heatwaves under global warming. *Nature Communications*, 15, 8265. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52760-1>
- Ingvaldsen, R. B., Assmann, K. M., Primicerio, R., Fossheim, M., Polyakov, I. V., & Dolgov, A. V. (2021). Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(12), 874-889. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00228-x>

IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H. Lee & J. Romero, eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Ma, Q., Shi, X., Scholz, P., Sidorenko, D., Lohmann, G. & Ionita, M. (2024). Revisiting climate impacts of an AMOC slowdown: dependence on freshwater locations in the North Atlantic. *Science Advances*, 10(47), eadr3243. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr3243>

Polyakov, I.V., Pnyushkov, A.V., Alkire, M.B., Ashik, I.M., Baumann, T.M., Carmack, E.C. i in. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science*, 356(6335), 285–291. <https://doi.org/10.1126/science.aai8204>

Popova, E. E., Yool, A., Coward, A. C., Aksenov, Y. K., Alderson, S. G., De Cuevas, B. A., & Anderson, T. R. (2010). Control of primary production in the Arctic by nutrients and light: insights from a high resolution ocean general circulation model. *Biogeosciences*, 7(11), 3569-3591. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3569-2010>

Rahmstorf, S., Box, J.E., Feulner, G., Mann, M.E., Robinson, A., Rutherford, S. & Schaffernicht, E.J. (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, 5(5), 475–480. <https://doi.org/10.1038/nclimate2554>

Screen, J.A., Audette, A., Blackport, R. i in. (2026). Causes and consequences of Arctic amplification elucidated by coordinated multimodel experiments. *Communications Earth & Environment*, 7, 23. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-03052-z>

Slagstad, D., Ellingsen, I. H., & Wassmann, P. (2011). Evaluating primary and secondary production in an Arctic Ocean void of summer sea ice: an experimental simulation approach. *Progress in Oceanography*, 90(1-4), 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.02.009>

Smith, R. W., Bianchi, T. S., Allison, M., Savage, C., & Galy, V. (2015). High rates of organic carbon burial in fjord sediments globally. *Nature Geoscience*, 8(6), 450-453. <https://doi.org/10.1038/ngeo2421>

Szymańska, N., Łacka, M., Kozirowska-Makuch, K., Kuliński, K., Pawłowska, J., Kujawa, A., ... & Zajaczkowski, M. (2021). Foraminifera-derived carbon contribution to sedimentary inorganic carbon pool: A case study from three Norwegian fjords. *Geobiology*, 19(6), 631-641. <https://doi.org/10.1111/gbi.12460>

Weydmann-Zwolicka, A., Prątnicka, P., Łacka, M., Majaneva, S., Cottier, F. & Berge, J. (2021). Zooplankton and sediment fluxes in two contrasting fjords reveal Atlantification of the Arctic. *Science of the Total Environment*, 773, 145599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145599>

5. Presentation of significant scientific or artistic activity carried out at more than one university, scientific or cultural institution, especially at foreign institutions

A complete list of my academic achievements is presented in the appendix entitled 'List of academic or artistic achievements constituting a significant contribution to the development of a specific discipline.' Below is an overview of my academic activities.

My research interests in Quaternary processes and paleoceanography developed from the early stages of my education and were consistently expanded at subsequent stages of my scientific career. I began my undergraduate studies in 2005 in oceanography at the Faculty of Oceanography and Geography, University of Gdańsk. Already at this stage, I actively participated in the activities of the Student Oceanographers' Association, engaging both in organizational initiatives and in my first field projects. In 2006-2007, I co-organized student scientific expeditions (to the Åland Islands and Rügen), which resulted in the collection of research material and the dissemination of results within the academic community.

A key moment in the development of my scientific career was the beginning of my collaboration with Prof. Marek Zajaczkowski, which enabled me to conduct research in polar

regions. In 2010, I took part in a one-month research stay in Spitsbergen (the Polish Polar Station in Hornsund and the Sørkapp area), during which I collected the material that formed the basis of my Master's thesis entitled "Assessment of contemporary changes in hydrological conditions in Hornsund Fjord (Spitsbergen) based on benthic foraminiferal assemblages." The results of this work were later published in *Annales Societatis Geologorum Poloniae* (Łącka and Zajączkowski, 2015).

After completing my Master's degree, I started PhD studies at the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences in Sopot within the PALECURR project funded by the Polish Ministry of Science and Higher Education. During my doctoral studies, I served as Chair of the Doctoral School and as the doctoral students' representative on the Scientific Council of the Institute of Oceanology PAS (2011-2014).

My doctoral dissertation was based on a marine sediment core collected in 2009 aboard the research vessel R/V Jan Mayen (now R/V Helmer Hanssen) in collaboration with the University of Tromsø (UiT), Norway. Since 2010, I regularly conducted research visits to UiT, where I discussed my results with Dr. Matthias Forwick, collaborated on the preparation of scientific publications, and used advanced research infrastructure, which contributed to the development of international collaboration. In 2011, during a stay at UiT, I also completed specialized training in the taxonomy of planktonic foraminifera under the supervision of Dr. Katarzyna Zamelczyk. At the same time, I was involved in the local scientific community, including as a volunteer in the organization of the international Arctic Frontiers conference (2010, 2011), where in 2011 I received the Association of Polar Early Career Scientists (APECS) award for the best poster presentation.

In 2012, alongside my research visits to Tromsø, I established scientific collaboration with the University of Turku (Finland) within the project "Quantifying climate variability since Late-glacial in Southern Svalbard (QUAL)" funded by the Academy of Finland (2012-2016). Together with Prof. Marek Zajączkowski, we carried out Polish-Finnish field campaigns to Hornsund and Storfjorden, where we were responsible for the oceanographic part of the project and for collecting marine sediment cores. Results from this project were used, among others, in the publication: Pawłowska, J., Łącka, M., Kucharska, M., Pawłowski, J., Zajączkowski, M. (2020). Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard. *Climate of the Past*, 16(2), 487–501.

In 2013, I returned to UiT and participated in a project funded by the Research Council of Norway concerning Arctic Ocean acidification, in which I was responsible for the micropaleontological analysis of planktonic foraminifera and interpretation of the results.

During this stay, I also delivered a lecture for students and PhD candidates during the Workshop in Arctic Marine Geology and Geophysics.

An important stage in the development of my methodological expertise was the collaboration I established in 2015 with Prof. Antoni Rosell-Melé (Autonomous University of Barcelona), which enabled the implementation of organic biomarker analyses in paleoceanographic research. During a two-month internship, I developed and optimized the methodology for alkenone extraction, making it possible to reconstruct sea surface temperatures in areas lacking classical micropaleontological indicators. This collaboration resulted in a publication in *Quaternary Science Reviews* (Łącka et al., 2019) and opened a new research direction.

The implementation of biomarker analyses at the Institute of Oceanology PAS was made possible through collaboration with the team of Prof. Grażyna Kowalewska, followed by Dr. Małgorzata Szymczak-Żyła, who played a key role in the development and implementation of biomarker methods and in the interpretation of the resulting data. A continuation of this work was the OPUS project (2019/33/B/ST10/00297), of which I was a co-author, and which enabled the purchase of GC-FID instrumentation and the further development of the analytical facilities of the Department of Paleoceanography.

An important component of my scientific development was also the acquisition of extensive field experience, including participation in more than 10 research cruises and field campaigns carried out in Arctic regions (the Greenland Sea and the Barents Sea), around Jan Mayen, in the Faroe Islands, and in the Baltic Sea. These studies were conducted aboard research vessels including R/V Oceania, R/V G.O. SARS, and R/V Oceanograf II. My work included the collection of marine sediment cores, surface sediment and water sampling, as well as participation in seismic surveys and hydrographic measurements. Particularly important for me were the Arctic campaigns, including AREX cruises (2012, 2018, 2019) and winter campaigns in Adventfjorden, Svalbard (2015-2016).

In 2012, I obtained my first research grant (PRELUDIUM, National Science Centre), within which I further developed international collaboration, including with OGS in Trieste. In 2014, I participated in a research cruise within the Eurofleets-2 PREPARED project aboard the Norwegian research vessel R/V G.O. SARS, which enabled me to expand my research with new field data and establish collaboration with an international team of experts. The results of this work were later used in scientific publications and presented at international conferences. In subsequent years, I actively expanded international collaboration through research projects. In 2019, I became leader of Work Package 2 (“Palaeoceanographic analyses”) in the GRIEG

project (NCN), carried out in collaboration with NORCE Norwegian Research Centre. This project integrated classical micropaleontological approaches with sedimentary ancient DNA (sedaDNA) analyses and resulted in a series of publications in international journals. Within this project, I also contributed to the training of young scientists as an auxiliary PhD supervisor. Since 2023, I have been participating in the PASTIME project funded by the Norwegian Research Council. This is an international project carried out in collaboration with several research institutions, including NORCE Norwegian Research Centre (Bergen) as the project leader, as well as the University of Oslo, the University of Bergen, and the Norwegian Polar Institute. Within this project, I am responsible for reconstructing productivity changes in Norwegian fjord environments over the last millennium, including the use of biomarker analyses. These studies are carried out in the Department of Paleoceanography at the Institute of Oceanology PAS.

My research interests focus particularly on the process of Arctic Atlantification, which I investigate at different temporal and spatial scales. In 2022, I obtained funding as Principal Investigator for the OPUS project ACCESS, aimed at assessing the impact of Atlantification on the migration of foraminiferal species in the European Arctic during the Holocene. Within this project, I conduct research in the Svalbard, Jan Mayen, and Faroe Islands regions, in collaboration with the Faroese Geological Survey and the University of Warsaw.

In addition to my main research focus on paleoenvironmental reconstruction, I have also collaborated with the University of Gdańsk on contemporary sedimentary processes. In the first project, I analyzed sedimentation rates in Hornsund Fjord using sediment traps and interpreting environmental data (Drewnik et al., 2016). In the second, I participated in the determination of total suspended matter in lakes of northern Poland, evaluating the relationship between satellite data and lake trophic status (Urbański et al., 2016). In the third, I investigated particulate matter fluxes in Kongsfjorden and Rijpfjorden, examining their seasonal variability and the impact of Atlantification and climate change on the functioning of Arctic fjord ecosystems (Weydmann-Zwolicka et al., 2021).

In 2025, I was invited to give lectures in micropaleontology at the Department of Oceanography and Marine Geology, University of Ruhuna (Sri Lanka), which confirms the international recognition of my scientific activity.

Since 2026, I have been leading the FINGER research project, funded by the Polish National Science Centre (NCN) under the OPUS programme (2025/59/B/ST10/02536), with a total budget of approximately PLN 1.1 million. The project represents a natural continuation and extension of my previous research on Atlantification and paleoenvironmental changes in

the Arctic, transferring the research approaches developed in Arctic studies to the Baltic Sea system. Its aim is to reconstruct the impact of catastrophic freshwater outbursts from the Baltic Ice Lake and the Ancylus Lake on the environment of the Baltic Sea, as well as on the North Atlantic and the European Arctic, using a multiproxy analysis of marine sediments. The project integrates my previous experience in Arctic paleoceanography with my expertise in the geology of the Baltic Sea, which I have developed since the early stages of my scientific career. The research is conducted in collaboration with Prof. Antti Ojala from the University of Turku, a leading expert in Quaternary geology and proglacial lakes, which further strengthens the international character of the project.

My scientific output comprises 28 articles published in journals indexed in the Web of Science database, including 7 where I am the first and/or corresponding author. The total number of citations is 435 (356 excluding self-citations), and my Hirsch index is 13 (as of 1st October 2026). The cumulative Impact Factor of my publications is 105.413, and the total number of Ministry of Science and Higher Education points is 3250. I have presented my results at numerous international conferences (including ICP, FORAMS, EGU, and the Ocean Sciences Meeting) and have also served as a reviewer for international scientific journals.

Since 2022, I have been Head of the Laboratory of Sedimentology, Stratigraphy and Micropaleontology in the Department of Paleoceanography at the Institute of Oceanology PAS. I am responsible for organizing laboratory work, developing research infrastructure, and coordinating the team's activities. As part of this role, I have secured funding for the purchase of research equipment (GC-FID, SEM-EDS, CHNSO) and for the development of new analytical methods.

6. [Presentation of teaching and organizational achievements, as well as achievements in popularization of science or art](#)

My teaching, organizational, and outreach activities began during my PhD studies at the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences and have since remained an important and complementary component of my scientific career. From an early stage of my education, I was actively involved in science communication initiatives, gradually expanding my engagement from local activities to the co-organization of international events.

Between 2010 and 2021, I was affiliated with the Sopot Scientific Society, where I served as a board member (Treasurer) from 2011 to 2019. During this time, I co-developed recurring science outreach initiatives, including the Science Café in Sopot and the conference

for young researchers “Where is the World Heading?”, which later evolved into the International Sopot Youth Conference. I was also involved in organizing the scientific programme, particularly in the fields of natural and exact sciences.

In parallel, I conducted extensive educational activities aimed at children and young people. Since the beginning of my doctoral studies, I have participated in organizing science picnics in Sopot, where I designed and led the “Paleontologist as a Detective” stand, promoting geology and paleontology of the Baltic Sea. Between 2012 and 2017, I conducted a series of geological workshops in collaboration with the Foundation for the Development of the University of Gdańsk and the Pankracy Foundation, as well as educational activities within the South Baltic WebLab project (2010-2013), aimed at students from the southern Baltic region. My organizational experience was further developed through co-organization of scientific conferences and workshops. In 2012, I co-organized the 4th National Conference “Young in Paleontology,” integrating paleontological and oceanographic communities, including preparation of field workshops (Borszcz & Łacka, 2012). In subsequent years, I contributed to the organization of international events, including the conference “Societal Relevance of Polar Research” (2018) and the ART-APECS Science Workshop (2015), where I served as a member of the organizing committee and led a working group contributing to a review publication on Arctic sedimentary processes (Wegner et al., 2015). I also chaired thematic sessions at international conferences, including the International Sopot Youth Conference (2011-2019), PAST Gateways Conference (2015), and Arctic Science Summit Week (2017).

Between 2018 and 2020, I was a member of the SIOS Science Optimisation Advisory Group within the Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS). My contributions included co-authoring synthesis reports on research conducted in Svalbard and evaluating research proposals submitted to SIOS Access Calls.

An important component of my activity is the training of early-career researchers. I have served as an auxiliary supervisor in PhD projects (Natalia Szymańska, 2022; Dhanushka Devendra, 2024; Prasadi De Silva, from 2025), as well as the main supervisor of a Master’s thesis within the Erasmus Mundus programme (Prasadi De Silva, 2025). In parallel, I have supervised students and trainees, conducting practical classes and overseeing national and international internships, supporting their research development and analytical skills.

My outreach activities also include numerous public lectures, workshops, and science-culture initiatives. In 2015, I co-organized the photographic exhibition “Frames,” presenting polar research, and in subsequent years contributed to events promoting Nordic culture and science (Nordic Focus Festival, Nordic Talking). I also developed the outreach initiative

“Moods of Scandinavia,” combining knowledge dissemination on Scandinavian countries with environmental science concepts, including friluftsliv, promoting awareness of human-environment relationships in a Northern European context. Additionally, I am involved in science communication via social media, managing the research group profile (<https://www.facebook.com/NEEDEDIOPAN>), followed by 403 users (as of 1st October 2026).

Organizational activity:

- 2012: Co-organization of the 4th National Conference “Young in Paleontology” (IO PAN, Sopot), including field workshops and geological presentations
- 2015: ART-APECS Science Workshop- leader of the paleoceanography working group, co-author of a review paper in Polar Research
- 2015: Session chair, PAST Gateways Conference, Potsdam
- 2017: Session chair, Arctic Science Summit Week (“Climate warming effects on organism size and growth rate...”)
- 2018-2020: Member of SIOS Science Optimisation Advisory Group; coordination of reports and proposal evaluation
- 2018: Member of organizing committee, “Societal relevance of polar research” conference (IO PAN, Sopot)

Science outreach:

- 2026: Micropaleontology stand at a science picnic organized by Primary School No. 48 named after Prof. Demel in Gdynia.
- 2026: Outreach lecture for Montessori Preschool “Tęcza” (Gdańsk): “The work of a paleoceanographer in the Arctic”
- 2019: Public lecture (Science Café): “How climate shaped history – from early agriculture to the Syrian civil war”
- 2017: Lectures “Secrets of the Arctic” (University of Gdańsk; Trolltunga language school)
- 2016: Public lecture for schoolchildren (Baltic Sea geology, Atelier Theatre, Sopot)
- 2015: Summer workshops in geology and paleontology (Pankracy Foundation)
- 2015: Co-organization of polar research photo exhibition “Frames”
- 2012–2017: Geological workshops for students (FRUG collaboration)

- 2012–2019: Organization of International Sopot Youth Conference

Teaching and supervision:

Auxiliary PhD supervisor:

- Prasadi De Silva (from 2025, International Environmental Doctoral School)
- Dhanushka Devendra (2020-2024; PhD awarded 2024)
- Natalia Szymańska (2016-2022; PhD awarded 2022)

Master's thesis supervisor:

- Prasadi De Silva (2025, Erasmus Mundus programme)

Student supervision:

- 2025: Gabriela Dobies, Adam Strelau, Tymoteusz Brakowski (University of Gdańsk)
- 2019: Karolina Rucińska, Mateusz Dąbrowski (Adam Mickiewicz University)
- 2018: Dominika Hetko, Damian Borowiec (UG), Karolina Rogowska (UAM)
- 2014-2013: student supervision and WebLab expert activities

7. [Apart from information set out in 1-6 above, the applicant may include other information about his/her professional career, which he/she deems important.](#)

Career breaks:

- May-December 2021: maternity leave
- May 2023-May 2024: maternity leave

Awards, distinctions, scholarships:

- Best poster presentation award, Arctic Frontiers Conference, Tromsø, Norway, 2011
- Director's Award of the Institute of Oceanology PAS for outstanding publication activity, 2016
- International research fellowship funded by the Research Council of Finland, 2015
- Scientific scholarship of the Director of the Institute of Oceanology PAS for top PhD students, 2013 and 2012

Research grants- Principal Investigator / leadership roles:

- Multiproxy reconstruction of Baltic proglacial lake signatures and the impact of their outbursts on climate during the Early Holocene (**FINGER**), 2026–2030, funded by the National Science Centre (Poland), OPUS call, project no. 2025/59/B/ST10/02536. Role: Principal Investigator, budget: 1,106,448 PLN
- Assessment of the impact of Atlantification on the migration of warm-water foraminiferal species to the European Arctic during the Holocene (**ACCESS**), 2023–2027, funded by the National Science Centre (Poland), OPUS call, project no. 2022/45/B/ST10/02033. Role: Principal Investigator, budget: 899,903 PLN
- The spatial distribution and biodiversity of modern foraminifera and the isotopic composition of the Storfjorden environment, East Spitsbergen (**HIGHWAY**), 2012–2015, funded by the National Science Centre (Poland), PRELUDIUM call, project no. 2012/05/N/ST10/03696. Role: Principal Investigator, budget: 141,700 PLN
- Sedimentary ancient DNA- a new proxy to investigate the impact of environmental change on past and present biodiversity in the Nordic Seas (**NEEDED**), 2020-2024, funded by EEA and Norway Grants, project no. 2019/34/H/ST10/00682. Role: Work Package 2 Leader, budget: 1,399,684 EUR

Participation in research projects:

- Present and past climate change impacts on Norwegian fjord ecosystems (**PASTIME**), 2024-2027, funded by the Research Council of Norway, PI: Agnes Weiner, project no. 343238. Role: **Researcher**
- Sedimentary ancient DNA- a new proxy to investigate the impact of environmental change on past and present biodiversity in Nordic Seas (**NEEDED**), 2020-2024, funded by EEA and Norway Grants, project no. 2019/34/H/ST10/00682. Role: **WP2 Leader**
- Multiproxy analysis of the sea surface temperature impact on primary productivity of the western and northern Svalbard shelf in the Holocene (**ALKENON**), 2020-2024, funded by the National Science Centre (Poland), project no. 2019/33/B/ST10/00297. Role: **Senior Researcher**
- The Holocene history of Greenland Gyre (**WIR**), 2017-2020, funded by the National Science Centre (Poland), project no. 2016/21/B/ST10/02308. Role: **Senior Researcher**
- **WARMPAST**, funded by the National Science Centre (Poland), project no. 2013/11/B/ST10/00276. Role: **Researcher**

- Declining size- a general response to climate warming in Arctic fauna? (**DWARF**), 2014, project no. Pol-Nor/201992/93/2014, funded by the National Centre for Research and Development (Poland). Role: **Researcher**
- Quantifying climate variability since Late-glacial in Southern Svalbard (**QUAL**), 2012-2016, funded by the Academy of Finland. Role: **Fellow**
- Effects of Ocean Chemistry Changes on Planktic Foraminifera in the Fram Strait: Ocean Acidification from Natural to Anthropogenic Changes (**OAFS**), funded by the Research Council of Norway, project no. 216538. Role: **Researcher**
- Advection of Atlantic Waters to the European part of the Arctic in Holocene: Paleoceanographic record of fluctuations in West Spitsbergen Current (**PALECURR**), project no. N N306 469938, funded by the National Science Centre (Poland). Role: **Senior Researcher**

Additional funding obtained:

- Centre for Polar Studies KNOW- travel grant for the 2nd International Meeting of Early-Stage Researchers in Palaeontology, 2017
- Centre for Polar Studies KNOW- travel grant for PAST Gateways Conference, 2016
- Regional Fund for Environmental Protection and Water Management in Gdańsk- funding for outreach booth at the 12th Baltic Science Festival, 2014 (9,000 PLN)
- The Geological Society travel & accommodation grant- Holocene Climate Change Conference, London, 2013 (350 GBP)
- PAGES & SCORE travel grant- 11th International Conference on Paleoceanography, Barcelona, 2013 (500 EUR)
- Regional Fund for Environmental Protection and Water Management in Gdańsk- funding for organizing the 4th National Conference “Young in Paleontology”, 2012 (6,000 PLN)
- Young Scientist Forum travel grant - Arctic Frontiers Conference, Tromsø, 2011 (2,200 NOK)

Peer review activity:

8 reviews, including for journals: Geology, Quaternary Science Reviews, Marine Micropaleontology, Journal of Marine Systems, Regional Science in Marine Systems, Polar Research, Marine Biodiversity, Thalassas

Membership in scientific organizations:

Since 2015: Member of the International Association of Sedimentologists

2018-2020: Member of SIOS Science Optimisation Advisory Group

2011-2019: Treasurer, Sopot Scientific Society

2011-2014: Member of the Scientific Council of the Institute of Oceanology PAS (PhD student representative)

2011-2012: Chair of the PhD Students' Council, Institute of Oceanology PAS

2011-2015: Member of The Cushman Foundation for Foraminiferal Research

2010-2015: Member of APECS and APECS Poland

Courses and certificates:

2011

- International doctoral workshop “Marine biodiversity under change” (Arctic Frontiers, ARCTOS), Norway
- Volunteer, Arctic Frontiers Conference
- PhD course “Climate modeling in the Arctic” (Nansen Centre, Svalbard)
- PhD course “Polar Marine Sedimentary Environments” (University of Tromsø)
- Course on Arctic planktonic foraminifera (lead by Dr Katarzyna Zamelczyk)
- Statistical course, Institute of Oceanology PAS
- Motorboat operator license
- CMAS* diving certification (including dry suit and nitrox diving)

2010

- Workshop “Polar Sedimentary Processes and Archives”, UK
- Course in scientific project management (Innopomerania)
- Volunteer, Arctic Frontiers Conference

2008

- GIS workshop, Institute of Oceanography, Poland
- Evaluation of research projects:

- 2016-2020: Expert for the Regional Operational Programme of Lower Silesia (R&D potential and environmental protection)
- 2018-2020: Reviewer in SIOS Access Call (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System)

Editorial activity:

Borszcz T., Łacka M. (eds.), 2012- “Paleontology in oceanography, oceanography in paleontology”, conference proceedings, 4th National Conference of Young Paleontologists, Sopot

Magdalena Łacka-
Wojciechowska

Elektronicznie podpisany przez
Magdalena Łacka-Wojciechowska
Data: 2026.10.01 22:50:01 +02'00'

(Applicant's signature)