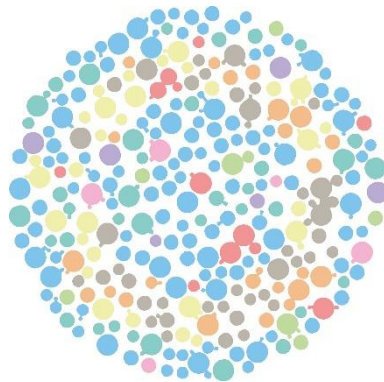




## AUTOREFERAT

# **Relacje przestrzenne pomiędzy planktonem, materią zawieszoną a procesami oceanicznymi w Arktyce**



**dr Emilia Trudnowska**

Instytut Oceanologii  
Polskiej Akademii Nauk

Sopot  
2022





2019-2022: Changes in the structure and functioning of pelagic ecosystems related to the darkening of European Arctic waters (CoastDark) (2018/29/B/NZ8/02463) (NCN OPUS) – post-doc

2018-2022: The ecological plasticity of the keystone Arctic zooplankton species (ecoPlast) (2017/27/B/NZ n8/00631) (NCN, OPUS) - kierownik

2018-2021: The new generation of *Calanus finmarchicus*: estimating population recruitment from egg production rates and gonad stage analysis off northern Norway (GONAD) (Fram Centre flagships 2018: 9218 M) - wykonawca

2018-2019: Mobility Plus Scholarship at Sorbonne Universite, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer, with prof. Lars Stemann. 'Investigating the distribution of planktonic organisms and their spatial distribution in the Arctic in relation to environmental gradients - improving research methodology' (MNiSW, DN/MOB/253/V/2017) - kierownik

2016-2017: Isfjorden Marine Observatory Svalbard (IMOS) (MNiSW, międzynarodowy współfinansowany, 3550/Norway/2016/2) – wykonawca

2014-2017: Declining size - a general response to climate warming in Arctic fauna? (DWARF) - Polish-Norwegian Research Fund (Pol-Nor/201992/93/2014) – wykonawca

2014-2017: Is size so crucial? Complex examination of plankton size structure in the warming European Arctic (PicMac) (2013/09/B/NZ8/03365) (NCN, OPUS) – wykonawca

2013-2014: Seasonality of Arctic plankton community of Isfjorden (UniPlankton), (MNiSW , 2736/UniPlankton/2013) – wykonawca

2012-2014: The Kongsfjorden - Hausgarten transect case study: Impact of climate on Arctic marine community structures and food webs (KongHau\_ZooM) (MNiSW, 2375/Svalbard/2012/2) – wykonawca

2012: Visiting Fellowship Award founded by Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO) and Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), with Dr Sünnje Linnéa Basedow at the University of Nordland, Norway - beneficjent

2011-2013: Estimation of mesozooplankton productivity on the West Spitsbergen Shelf based on biomass size spectrum analysis (ProSize) - Polish National Science Centre (011/01/N/ST10/07339) (NCN, Preludium) - kierownik

2008-2011: Response of marine and terrestrial ecosystems to climate changes in Arctic – links between physical environment, biodiversity of zooplankton and seabird populations (ALKEKONGE) – Polish-Norwegian Research Fund (PNRF-234-AI-1/07) – doktorant

### **Działalność publikacyjna**

Indeks Hirscha, h-index : 10 (wg Web of Science)

Liczba cytowań : 265, bez autocytaowań: 185 (wg Web of Science)

Ilość publikacji w bazie JCR : 21



Ilość publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora : 6

Ilość publikacji po uzyskaniu stopnia doktora : 15

Ilość publikacji pierwszo-autorskich w bazie JCR : 9

Sumaryczny Impact Factor: 77.56 [30.47 (osiągnięcie habilitacyjne) + 47.09 (pozostałe)]

Suma punktów MNiSW: 2 150 [710 (osiągnięcie habilitacyjne) + 1 440 (pozostałe)]

#### **4. Dorobek naukowy stanowiący podstawę przewodu habilitacyjnego**

##### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Relacje przestrzenne pomiędzy planktonem, materią zawieszoną a procesami oceanicznymi w Arktyce.

##### **4.2. Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe**

1. **Trudnowska E.**, Gluchowska M., Beszczynska-Möller A., Błachowiak-Samołyk K., Kwasniewski S. (2016) Plankton patchiness in the Polar Front region of the West Spitsbergen Shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 560, 1–18
2. **Trudnowska E.**, Sagan S., Błachowiak-Samołyk K. (2018) Spatial variability and size structure of particles and plankton in the Fram Strait. *Progress in Oceanography*, 168, 1-12
3. **Trudnowska E.**, Dąbrowska A., Boehnke R., Zajączkowski M., Błachowiak-Samołyk K. (2020) Particles, protists, and zooplankton in glacier-influenced coastal Svalbard waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 242, 106842
4. **Trudnowska E.**, Stemmann L., Błachowiak-Samołyk K., Kwaśniewski K. (2020) Taxonomic and size structures of zooplankton communities in the fjords along the Atlantic water passage to the Arctic. *Journal of Marine Systems*, 204, 103306
5. **Trudnowska E.**, Balazy K., Stoń-Egiert J., Smolina I., Brown T., Gluchowska M. (2020) In a comfort zone and beyond – ecological plasticity of key marine mediators. *Ecology and Evolution*. 10, 14067-14081
6. **Trudnowska E.**, Lacour L., Ardyna M., Rogge A., Irisson J-O., Waite A., Babin M., Stemmann L. (2021) Marine snow morphology illuminates the evolution of phytoplankton blooms and determines their subsequent vertical export. *Nature Communications*, 12, 2816

##### **4.3. Informacja o czasopismach publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne**

No	Czasopismo	Punkty MNiSW	Impact Factor
1	Marine Ecology Progress Series	70	3.09
2	Progress in Oceanography	140	4.08
3	Estuarine, Coastal and Shelf Science	100	2.93
4	Journal of Marine Systems	100	2.54
5	Ecology and Evolution	100	2.91
6	Nature Communications	200	14.92
		Σ 710	Σ 30.47



#### **4.4. Omówienie wkładu autorskiego w powstanie publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne**

Artykuł 1 : Wkład autorski: 65%, na który złożyło się: udział w planowaniu koncepcji badań, zebranie danych podczas rejsu, opracowanie próbek zooplanktonu w laboratorium, analiza danych przestrzennych z laserowego licznika planktonu (LOPC), znaczący wkład w statystyczną analizę wyników, przygotowanie rycin, interpretację wyników, dobór literatury oraz w przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

Artykuł 2: Wkład autorski: 75%, na który złożyło się: zaplanowanie koncepcji badań, zebranie danych podczas rejsu, analiza danych z dwóch optycznych liczników cząstek (LOPC, LISST), statystyczna analiza wyników, przygotowanie rycin, interpretacja wyników, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

Artykuł 3: Wkład autorski: 70%, na który złożyło się: zaplanowanie koncepcji badań, zebranie danych podczas rejsu, analiza danych z optycznego licznika cząstek (LOPC), statystyczna analiza wszystkich uzyskanych wyników, przygotowanie rycin, interpretacja wyników, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

Artykuł 4: Wkład autorski: 75%, na który złożyło się: zaplanowanie koncepcji badań, analiza laboratoryjna próbek zooplanktonu (skład taksonomiczny, zdjęcia i pomiary organizmów), analiza danych z optycznego licznika cząstek (LOPC), statystyczna analiza wszystkich uzyskanych wyników, przygotowanie rycin, interpretacja wyników, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

Artykuł 5: Wkład autorski: 75%, na który złożyło się: zdobycie finansowania na badania (NCN, OPUS), zaplanowanie koncepcji badań, zebranie materiałów na rejsie, analiza laboratoryjna próbek, statystyczna analiza uzyskanych wyników, przygotowanie rycin, interpretacja wyników, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

Artykuł 6: Wkład autorski: 65%, na który złożyło się: zdobycie finansowania na stypendium i współpracę zagraniczną, zaplanowanie koncepcji artykułu i dobór danych, analiza statystyczna uzyskanych wyników, przygotowanie rycin, interpretacja wyników, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji

#### **4.5. Omówienie celu naukowego oraz wyników prac stanowiących osiągnięcie habilitacyjne**

Podstawą niniejszej rozprawy habilitacyjnej jest cykl sześciu artykułów opublikowanych w uznanych czasopismach międzynarodowych, które zostały przedstawione w punkcie 4.2. oraz w Tabeli w punkcie 4.3. Głównym celem tych prac było zbadanie zjawiska nierównomiernego rozmieszczenia zbiorowisk planktonu (zarówno roślinnego, jak i zwierzęcego), wraz z współwystępującą materią zawieszoną w postaci cząstek (organicznych lub mineralnych) oraz agregatów powstających w wyniku połączenia tych frakcji, czyli tzw. 'śniegiem morskim' (z



ang. marine snow). Kluczowym aspektem uzyskanych wyników była analiza powiązań pomiędzy zaobserwowanymi wzorcami rozmieszczenia planktonu oraz materii zawieszanej w toni wodnej a różnoskalowymi procesami oceanicznymi, oraz ich znaczeniem dla funkcjonowania pelagialu wysokich szerokości geograficznych.

Badania powiązań pomiędzy charakterystyką środowiska abiotycznego a występowaniem organizmów planktonowych oraz materii zawieszanej, także z uwzględnieniem ich interakcji, zostały przeprowadzone zarówno poprzez zastosowanie metod tradycyjnych (sieci planktonowe, batometry)[1, 3, 4, 5], jak i z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii (laserowe liczniki, kamery podwodne, HPLC)[1, 2, 3, 5, 6]. Śledzenie wzorców rozmieszczenia skupisk planktonu oraz materii zawieszanej (z ang. patchiness), badanie ich struktury oraz czynników sprzyjających ich powstawaniu wymagało zastosowania wielowymiarowych numerycznych obliczeń [1, 2, 3, 4, 5, 6], oraz wizualizacji przestrzennych odpowiadających skali procesów zachodzących w oceanach [1, 2, 3, 6]. Przeprowadzone badania miały charakter interdyscyplinarny, łączący przede wszystkim zagadnienia z dziedziny hydrografii [1, 2, 3, 4, 5, 6], podkreślając znaczenie frontu polarnego [1, 5,], adwekcji wód atlantyckich [1, 2, 4, 5], występowania pokrywy lodu morskiego [2, 6], oraz wytapiania lodowców [3, 5] dla funkcjonowania pelagialu mórz nordyckich. W każdej z zaprezentowanych poniżej prac motywem przewodnim była detekcja występowania oraz oszacowanie liczebności zooplanktonu [1, 2, 3, 4, 5], pierwotniaków [2, 3, 6] oraz zawiesin mineralnych lub organicznych [1, 2, 3, 6], ich identyfikacja oraz wyjaśnienie przyczynowo skutkowe podjętych obserwacji.

W artykule pierwszym podjęto się scharakteryzowania kluczowego, acz wciąż mało poznanego zjawiska – plamistego rozmieszczenia planktonu oraz materii zawieszanej w wodach południowego szelfu zachodniego Spitsbergenu [1]. Detaliczna dokumentacja tego zjawiska została przeprowadzona na podstawie pomiarów za pomocą laserowego optycznego licznika planktonu (LOPC) wykonanych z niezwykle wysoką rozdzielczością przestrzenną. Badania zostały przeprowadzone wzdłuż kilku sekcji pomiarowych w rejonie frontu polarnego oraz w strefach typowo arktycznych i atlantyckich. Wykonano także równoczesne pomiary temperatury, zasolenia oraz fluorescencji chlorofilu w górnej 50-metrowej warstwie wody w celu wykazania powiązań pomiędzy mozaikowym rozmieszczeniem planktonu a gradientami środowiskowymi. Dodatkowo opis składu taksonomicznego badanych zgrupowań oparty był na próbkach zebranych za pomocą sieci planktonowych. Zaobserwowane skupiska planktonu różniły się pod względem rozmiaru, zagęszczenia oraz wzorców ich rozmieszczenia w toni



wodnej. Zbadane skupiska zajmowały niewielką część badanej przestrzeni (2-15%), jednakże zagęszczenia organizmów w nich były od 3 do 17 razy wyższe niż w otaczających wodach. Rozmieszczenie skupisk małej frakcji wielkościowej (fitoplankton, cząstki nieorganiczne, detrytus) było ściśle powiązane z strukturą hydrograficzną kolumny wody. Frakcja średnia (średniej wielkości zooplankton, śnieg morski) koncentrowała się przede wszystkim w okolicy gradientów gęstościowych, podczas gdy rozmieszczenie dużych widłonogów było niezależne od zaobserwowanych struktur oceanicznych. Praca ta jest istotnym krokiem w kierunku pełniejszego rozpoznania i zrozumienia wzorców rozmieszczenia planktonu oraz materii zawieszony, ale także pozwala na ekologiczne interpretacje tego zjawiska w kontekście reakcji ekosystemów pelagicznych na heterogeniczne środowisko. Różnice ekologiczne po obu stronach frontu polarnego zostały przez mnie znacznie wnikliwiej zbadane na przykładzie kluczowych widłonogów z rodzaju *Calanus* [5].

Ponieważ w pracy dotyczącej plamistości [1] wykazano, że w zależności od rozmiaru, materia zawieszona oraz plankton w odmienny sposób gromadzą się na takich nieciągłościach środowiskowych, jak stratyfikacja termiczno-zasoleniowa, front pomiędzy odmiennymi masami wodnymi oraz na krawędziach, bądź wewnątrz wirów wodnych, naturalną kontynuacją moich badań było poszerzenie spektrum wielkościowego badanych elementów pelagialu [2]. Drugi artykuł prezentuje pionierską próbę zilustrowania rozmieszczenia pełnej struktury wielkościowej planktonu oraz materii zawieszony na szerokim obszarze Cieśniny Fram (55 stacji). To niełatwe zadanie umożliwiły kompatybilne pomiary z dwóch laserowych optycznych liczników cząstek dostarczających szczegółowych informacji o innym zakresie wielkościowym planktonu i zawieszonych w toni wodnej cząstkach: LOPC (100 – 3 500  $\mu\text{m}$ ) i LISST (1-200  $\mu\text{m}$ ). Tak zaplanowane i zintegrowane pomiary dostarczyły cennych wyników dla zbadania znaczenia gradientu równoleżnikowego na strukturę wielkościową zbiorowisk planktonu oraz materii zawieszony. Interesującym aspektem zaproponowanego ujęcia było nie tylko wykazanie potencjału wynikającego z jednoczesnego zastosowania tych dwóch nowoczesnych technologii, ale przede wszystkim przeprowadzenie równoległej analizy rozmieszczenia materii ożywionej (fito- oraz zoo- plankton) oraz nieożywionej (cząstki mineralne oraz agregaty w formie ‘marine snow’). Przeprowadzone na szeroką skalę badania potwierdziły, że strategiczny rejon Cieśniny Fram, będący tzw. bramą do Arktyki, jest rejonem silnych biofizycznych kontrastów. Występowanie skupisk badanych grup funkcjonalnych było powiązane z takimi procesami jak flokulacja cząstek w wyniku kontaktu wody morskiej z wodą o niższym zasoleniu (pochodzącej z lodu morskiego, fiordów, lodowców), wzmożona



produkcja biologiczna i re-suspensja osadów w wyniku przybrzeżnego upwellingu, czy też akumulacja materii w wyniku adwekcji wód atlantyckich. Ponadto wykazano nie tylko zmiany przestrzenne, ale również zmiany strukturalne badanych skupisk w strumieniu adwekcji wód atlantyckich na północ, co zostało następnie dodatkowo zbadane w ramach artykułu przedstawiającego strukturę wielkościową oraz taksonomiczną zooplanktonu wzdłuż transportu wód atlantyckich [4]. Ponieważ szczególnie wysokie koncentracje planktonu oraz materii zawieszonych zostały zaobserwowane w północnych częściach badanego rejonu, w strefie marginalnej lodu morskiego [2], należy przypuszczać, iż ta właśnie strefa jest rejonem istotnym dla eksportu materii [6] oraz stanowi bogate żerowisko dla konsumentów wyższych rzędów. Przeprowadzone badania stały się przyczynkiem do poszerzenia wiedzy w zakresie rozmieszczenia często dotąd pomijanych elementów pelagialu, takich jak śnieg morski, a pogłębienie tego aspektu było kontynuowane w kolejnych dwóch pracach stanowiących podstawę niniejszej habilitacji na przykładzie agregatów powstających przy lodowcach [3], oraz na krawędzi lodu morskiego [6].

Kolejny artykuł [3] wchodzący w skład osiągnięcia prezentuje niezwykle ciekawe zjawisko wpływu gradientów środowiskowych spowodowanych intensywnym wytapianiem się lodowców, uwidocznionych jako 'rzeki błota' (z ang. brown zones), na rozmieszczenie cząstek oraz warunki bytowania planktonu. Badania przeprowadzone zostały w rejonach wciąż jeszcze słabo rozpoznanych i opisanych w literaturze światowej (północne oraz wschodnie wybrzeża Archipelagu Svalbard). Mimo, że badane czynniki środowiskowe wyjaśniały dużą część zbadanej zmienności w liczebności i składzie gatunkowym zooplanktonu i pierwotniaków (odpowiednio 70% i 62%), uzyskane wyniki wskazują, że interakcje pomiędzy różnymi elementami zawieszonymi w pelagialu wód wytopiskowych są pochodną wielu złożonych, współdziałających procesów fizycznych i ekologicznych. Tak więc postawiona hipoteza, iż rozmieszczenie oraz struktura taksonomiczna planktonu będzie odzwierciedlać wyraźne gradienty środowiskowe wyznaczone na podstawie zasolenia, mętności, oraz koncentracji zawieszin, rozciągające się od czoła lodowca w kierunku wód czystych, została odrzucona. Co ciekawe, zaobserwowane wzorce rozmieszczenia planktonu oraz morskich agregatów w formie śniegu morskiego różniły się pomiędzy fiordami (Wijdefjorden, Rijpfjorden) a wodami przybrzeżnymi wokół wysp (Nordaustlandet, Edgeøya), co sugeruje, że te elementy pelagialu mają odmienne pochodzenie oraz podlegają innym procesom oceanicznym w tych lokalizacjach. Artykuł ten wyszedł naprzeciw ogromnemu zapotrzebowaniu na zbadanie wpływu procesu topnienia lodowców na plankton morski, co następnie zostało potwierdzone





na przykładzie kluczowych cech morfologiczno-funkcjonalnych widłonoga z rodzaju *Calanus* badanego w zatoce przylodowcowej fiordu Hornsund [5]. Był również studium pilotażowym projektu CoastDark, w którym zostałam zatrudniona na stanowisku post-doc. W pracy [3] podjęłam się również próby opisanie podstawowych cech morfologicznych (rozmiar, przezroczystość) tworzących się agregatów z zawiesin (z ang. marine snow), co stało się istotną osią moich przyszłych zainteresowań [6].

Celem kolejnego artykułu [4] było prześledzenie rozmieszczenia oraz struktury (gatunkowej oraz wielkościowej) zooplanktonu w szerokiej skali geograficznej (60-80 °N), odzwierciedlającej naturalny gradient temperatury. Badania zostały przeprowadzone w sześciu fiordach u wybrzeży Norwegii oraz Svalbardu, które różniły się zasadniczo ekspozycją na adwekcję wód atlantyckich, co w połączeniu z różnicami w tempie rozwoju populacji okazało się kluczowym czynnikiem determinującym strukturę wielkościową badanych zbiorowisk. Dodatkowym interesującym aspektem uzyskanych wyników było porównanie informacji taksonomicznej składu gatunkowego z informacją zawartą w rozkładzie wielkości zooplanktonu, zarówno w kontekście liczebności, jak i bio-objętości. W rezultacie wyróżniono odrębne procesy, które mogą być monitorowane przez zastosowanie konkretnego podejścia metodycznego, np. drobnoskalowe lokalne procesy oraz zintensyfikowana adwekcja są znacznie lepiej odzwierciedlane przez strukturę wielkościową, podczas gdy strukturalne zmiany biogeograficzne są lepiej wyrażone przez analizę taksonomiczną zooplanktonu. Możliwość prześledzenia biogeografii zbiorowisk zooplanktonu wzdłuż osi ich transportu na północ wraz z ciepłymi wodami atlantyckimi stanowiła unikalną szansę dla porównania struktury i funkcjonowania planktonu w świetle postępującego ocieplania Arktyki, oraz interesujące faunistyczne dopełnienie wyników bazujących wyłącznie na pomiarach automatycznych [2].

Swoistym przełomem w postrzeganiu dwóch najistotniejszych w rejonie Spitsbergenu gatunków zooplanktonu, *Calanus glacialis* i *C. finmarchicus*, było wykazanie, że ich współwystępowanie determinuje ogrom zmienności w zbadanych cechach morfologiczno-ekologicznych tych widłonogów [5]. W ramach tego artykułu po raz pierwszy tak wiele cech morfologiczno-ekologicznych obu gatunków zostało zbadanych kompleksowo przy jednocześnie przeprowadzonej genetycznej weryfikacji taksonomicznej. Wykazałam, że oba gatunki mogą osiągać różne rozmiary, przyjmować odmienną pigmentację, osiągać różne tempo rozwoju populacji, stosować inne strategie reprodukcyjne i strategie akumulacji tłuszczów oraz żywić się zróżnicowanym pokarmem w zależności od tego, czy żyją w strefie



swojego pochodzenia (strefa *stricte* arktyczna dla *C. glacialis* i atlantycka dla *C. finmarchicus*), czy poza nią (główny basen oraz zatoka przylodowcowa fiordu Hornsund). Ponadto, wyraźnie pokazano, że osobniki występujące w zatoce przylodowcowej, gdzie występowały wysokie koncentracje zawieszonych cząstek, były zdecydowanie mniejsze, oraz zmuszone żywić się także zawiesiną mineralną. Otrzymane wyniki wskazujące na wysoką plastyczność obu gatunków *Calanus* w relacji do ich rozmieszczenia i panujących warunków, są znaczącym postępowaniem w rozpoznaniu ekologii tych organizmów. Ponieważ widłonogi te stanowią podstawę krótkiego, arktycznego łańcucha pokarmowego, a dynamika rozwoju ich populacji wpływa istotnie na strukturę wielkości skupisk zooplanktonu wyrażoną w jednostce bioobjętości, zarówno w fiordach Spitsbergenu, jak i Norwegii [4], rozpoznanie ich ekologii ma walory wielowymiarowe dla lepszego zrozumienia procesów zachodzących w zmieniającej się Arktyce.

Ostatnim krokiem w celu zbadania relacji przestrzennych pomiędzy planktonem, materią zawieszoną a procesami oceanicznymi było prześledzenie dynamiki zakwitu fitoplanktonu w strefie marginalnej lodu wraz z analizą jakościowo-ilościową śniegu morskiego w dwóch kluczowych regionach Arktyki (Baffin Bay, Fram Strait) [6]. W tym celu wraz z zespołem francuskim z Sorbonne Universite, z którym pracowałam podczas stypendium Mobilność Plus, opracowaliśmy innowacyjne podejście do analizy jakościowej cząstek detrytusów, do której użyliśmy ponad 2 miliony zdjęć podwodnych wykonanych za pomocą UVP (Underwater Vision Profiler). Wyznaczone wartości 24 cech morfologicznych indywidualnych cząstek zostały poddane analizie skalowania PCA (Principal Component Analysis), a współrzędne uzyskanej wielowymiarowej przestrzeni ('morpho-space') zostały poddane klasteryzacji w celu wydzielenia ekologicznie istotnych morfo-typów cząstek. Wydzieliłam 5 takich typów: dark, elongated, fluffy, flake, agglomerated, które różniły się zasadniczo rozmiarem, przezroczystością, strukturą oraz kształtem. W artykule wykazano, że rozpoznanie rozmieszczenia wyznaczonych typów cząstek nie tylko poprawnie odzwierciedla sukcesję zakwitów fitoplanktonu (inne typy cząstek dominowały w fazie zakwitu pod lodem, w strefie marginalnej lodu, oraz po całkowitym ustąpieniu pokrywy lodowej) oraz jego struktury taksonomicznej (algi stowarzyszone z lodem, okrzemki, *Phaeocystis*), ale także poszerza znacząco spektrum uwzględnianych wektorów w badaniach transferu węgla organicznego z warstw powierzchniowych do głębin morskich. Zaproponowana metoda rozszerza dostępne dotąd możliwości analityczno-poznawcze badań materii zawieszonych w oceanach o bardziej zaawansowaną analizę morfologiczną indywidualnych cząstek na podstawie wysokiej jakości



zdjęć podwodnych. Ciekawym aspektem tej pracy było wprowadzenie do nomenklatury ekologicznej swego rodzaju 'taksonomii śniegu morskiego'. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie strefy marginalnej lodu dla wysokiej produktywności i funkcjonowania pelagialu Arktyki [2] oraz poszerzają dotychczas dostępne spectrum opisu cech morfologicznych agregatów [2, 3].

Przedstawiony zbiór 6 artykułów łączy próba użycia tradycyjnych (sieci planktonowe, batometry) i nowoczesnych (LOPC, LISST, UVP, HPLC) metod w celu dogłębnego zrozumienia wzorców występowania planktonu arktycznego oraz materii zawieszanej w toni wodnej na tle różnoskalowych procesów oceanicznych. Wyniki zawarte w serii artykułów składających się na rozprawę habilitacyjną poza opisem rozmieszczenia oraz struktury planktonu i materii zawieszanej, przynoszą także szereg rekomendacji metodologicznych i praktycznych, które mogą być istotnym przyczynkiem dla doskonalenia metodyki badania struktury oraz rozmieszczenia planktonu w celu zrozumienia ich ekologii oraz relacji z gradientami oraz fluktuacjami środowiskowymi.

## **5.0. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze**

W skład mojego dorobku naukowego wchodzi 21 publikacji w bazie JCR, w tym 9 pierwszo-autorskich. Spośród tych pozycji indeksowanych przez Filadelfijski Instytut Informacji Naukowej, 6 artykułów zostało opublikowanych przed obroną doktoratu, a 15 po uzyskaniu stopnia doktora. Mój indeks Hirscha H' wynosi 10, a według bazy Web of Science publikacje, których jestem autorem lub współautorem były cytowane 265 razy.

Eksplorowanie nowatorskich kierunków przy zastosowaniu ściśle interdyscyplinarnego podejścia oraz wielowymiarowej współpracy międzynarodowej umożliwiło mi istotny wkład w szeroko pojęte, światowe badania pelagialu rejonów arktycznych, których wyniki aktywnie prezentowałam na światowej arenie naukowej (udział w 18 konferencjach międzynarodowych, współautor 57 wystąpień). Moja kariera naukowa opierała się w znacznym stopniu na aktywnym pozyskiwaniu środków na badanie pelagialu rejonów polarnych (kierownik 3 grantów), ich realizacji (wykonawca w 10 projektach, w tym 6 projektach norweskich, 1 europejskim i 3 polskich) oraz na zdobywaniu doświadczeń za granicą (roczne stypendium we Francji, miesięczny staż w Norwegii, 9 szkoleń zawodowych (Niemcy, Norwegia, Nowa Zelandia, USA, Francja), dzięki którym zbudowałam szeroką sieć współpracy owocującej wspólnymi publikacjami naukowymi i projektami. Biorę także aktywny udział w licznych



rejsach arktycznych oraz angażując się w rozwój młodej kadry prowadząc zajęcia na studium doktoranckim oraz będąc współ-promotorem ambitnych doktoratów.

### 5.1. Lista pozostałych prac naukowych opublikowanych w bazie JCR

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

7. **Trudnowska E.**, Sagan S., Kwasniewski S., Darecki M., Błachowiak-Samołyk K. (2015) Fine-scale zooplankton vertical distribution in relation to hydrographic and optical characteristics of the surface waters on the Arctic shelf. *Journal of Plankton Research*, 37, 120-133
8. **Trudnowska E.**, Basedow S.L., Błachowiak-Samołyk K. (2014) Mid-summer mesozooplankton biomass, its size distribution, and estimated production within a glacial Arctic fjord (Hornsund, Svalbard). *Journal of Marine Systems*, 137, 55-66
9. **Trudnowska E.**, Szczucka J., Hoppe L., Boehnke R., Hop H., Błachowiak-Samołyk K. (2012) Multidimensional zooplankton observations on the northern West Spitsbergen Shelf. *Journal of Marine Systems*, 98, 18-25
10. Kidawa D., Jakubas D., Wojczulanis-Jakubas K., Stempniewicz L., **Trudnowska E.**, Boehnke R., Keslinka-Nawrot L., Błachowiak-Samołyk K. (2015) Parental efforts of an Arctic seabird, the little auk *Alle alle*, under variable foraging conditions. *Marine Biology Research*, 11, 349–360
11. Stempniewicz L., Darecki M., **Trudnowska E.**, Błachowiak-Samołyk K., Boehnke R., Jakubas D., Keslinka-Nawrot L., Kidawa D., Sagan S., Wojczulanis-Jakubas K. (2013) Visual availability of prey determines distribution of little auks in the shelf waters adjacent to breeding colonies on West Spitsbergen. *Polar Biology*, 36, 949-955
12. Jakubas D., **Trudnowska E.**, Wojczulanis-Jakubas K., Iliszko L., Kidawa D., Darecki M., Błachowiak-Samołyk K., Stempniewicz L. (2013) Foraging closer to the colony leads to faster growth in little auks. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 263–278

#### Po uzyskaniu stopnia doktora:

13. Boehnke, R., Wichorowski, M., **Trudnowska, E.**, Balazy, K., Jakubas, D., Wold, A., Wojczulanis-Jakubas, K., Falk-Petersen, S., Kidawa, D., Hop, H., Błachowiak-Samołyk. (2022) Application of artificial neural network to estimate the quality of little auks ' potential foraging grounds on Spitsbergen, *Limnology and Oceanography: Methods*. doi:10.1002/lom3.10478
14. Balazy K., Boehnke R., **Trudnowska E.**, Søreide JE., Błachowiak-Samołyk K. (2021) Phenology of *Oithona similis* demonstrates that ecological flexibility may be a winning trait in the warming Arctic. *Scientific Reports*, 11, 18599
15. Szeligowska M., **Trudnowska E.**, Boehnke R., Dąbrowska A. M., Dragańska-Deja K., Deja K., Darecki M., Błachowiak-Samołyk K. (2021) The interplay between plankton and particles in the Isfjorden waters influenced by marine- and land-terminating glaciers. *Science of The Total Environment*, 780, 146491



16. Szeligowska M., **Trudnowska E.**, Boehnke R., Dąbrowska A.M., Wiktor J.M., Sagan S., Błachowiak-Samołyk K. (2020) Spatial Patterns of Particles and Plankton in the Warming Arctic Fjord (Isfjorden, West Spitsbergen) in Seven Consecutive Mid-Summers (2013–2019). *Frontiers in Marine Science*, 7:584, 1-18
17. Balazy K., **Trudnowska E.**, Błachowiak-Samołyk K. (2019) Dynamics of Calanus Copepodite Structure during Little Auks' Breeding Seasons in Two Different Svalbard Locations. *Water*, 11, 1405
18. Basedow S.L., McKee D., Lefering I., Gislason A, Daase M, **Trudnowska E**, Skarstad Egeland E., Choquet M., Falk-Petersen S. (2019) Remote sensing of zooplankton swarms. *Scientific Reports*, 9, 686
19. Balazy K., **Trudnowska E.**, Wichorowski M., Błachowiak-Samołyk K. (2018) Large versus small zooplankton in relation to temperature in the Arctic shelf region. *Polar Research*, 37/1/1427409, 1-12
20. Głuchowska M., **Trudnowska E.**, Goszczko I., Kubiszyn A.M., Błachowiak-Samołyk K., Walczowski W., Kwaśniewski S. (2017) Variations in the structural and functional diversity of zooplankton over vertical and horizontal environmental gradients en route to the Arctic Ocean through the Fram Strait. *PLoS ONE*, 12(2), e0171715
21. Szczucka J., **Trudnowska E.**, Hoppe L., Błachowiak-Samołyk K. (2016) Comparison of acoustical to optical zooplankton measurements via an acoustic scattering model: A case study from the Arctic frontal zone. *Polish Polar Research*, 37, 67-88

#### Wykaz pozostałych publikacji, nie ujętych w ramach osiągnięcia habilitacyjnego

N	Pierwszy autor	Czasopismo	Rok	Ilość cytowań	Punkty MNiSW	Impact Factor
<u>Prace rozprawy doktorskiej:</u>						
7	Trudnowska	Journal of Plankton Research	2015	19	100	2.45
8	Trudnowska	Journal of Marine Systems	2014	26	100	2.54
9	Trudnowska	Journal of Marine Systems	2012	24	100	2.54
<u>Pozostałe przed doktoratem:</u>						
10	Kidawa	Marine Biology Research	2015	20	40	1.30
11	Stempniewicz	Polar Biology	2015	25	70	2.23
12	Jakubas	Marine Ecology Progress Series	2013	39	70	3.09
<u>Po uzyskaniu stopnia doktora:</u>						
13	Boehnke	Limnology and Oceanography: Methods	2022	0	100	2.63
14	Balazy	Scientific Reports	2021	1	140	4.38
15	Szeligowska	Science of The Total Environment	2021	1	200	7.96
16	Szeligowska	Frontiers in Marine Science	2020	3	100	4.44
17	Balazy	Water	2019	6	70	3.23



18	Basedow	Scientific Reports	2019	15	140	4.38
19	Balazy	Polar Research	2018	13	70	1.61
20	Gluchowska	PLoS ONE	2017	20	100	3.24
21	Szczucka	Polish Polar Research	2016	0	40	1.07
					$\Sigma$ 1 440	$\Sigma$ 47.09

## 5.2. Współpraca krajowa i zagraniczna

Piękną specyfiką pracy oceanografa jest jej zbiorowość, z ang. ‘networking’, co oznacza, że badacz morza niemal nigdy nie pracuje sam, a zawsze współdziała z szeregiem innych specjalistów. Im szersze grono współpracowników, tym szersze nasze horyzonty oraz możliwości logistyczne. Moje zaangażowanie w realizację licznych projektów, szerokie spektrum zainteresowań oraz otwartość na różne kierunki badań umożliwiły mi stworzenie unikalnej sieci współpracy z gronem naukowców będących moimi współpracownikami bądź przewodnikami po świecie nauki. Zarówno na etapie pozyskiwania funduszy na badania, prac terenowych, laboratoryjnych, czy koncepcyjnych towarzyszyli mi inni badacze dzieląc się swoim czasem, wiedzą i doświadczeniem.

Od samego początku szeroko pojęta współpraca wpisana była zarówno w mój rozwój naukowy, ponieważ materiały do mojego doktoratu powstawały w ramach realizacji dużego, interdyscyplinarnego projektu polsko-norweskiego (Alkekonge), w którym promotor mojego doktoratu - prof. dr hab. Katarzyna Błachowiak-Samołyk nawiązała współpracę z interdyscyplinarnym zespołem ekspertów. Na przestrzeni ostatniej dekady wiele wspólnych publikacji [2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 21] oraz wspólnych projektów badawczych powstało w oparciu o tę wielowymiarową współpracę o zasięgu zarówno krajowym (zespół ornitologów Uniwersytetu Gdańskiego, m.in. prof. dr hab. Lech Stempniewicz, prof. dr hab. Dariusz Jakubas, dr hab. Katarzyna Wojczulanis-Jakubas, zespół pracowników innych zakładów IOPAN, jak np. akustyków (dr hab. Joanna Szczucka) i optyków (dr hab. Sławomir Sagan, dr hab. Mirosław Darecki)), jak i zagranicznym (University of Tromsø, Norwegian Polar Institute, Akvaplan-niva, m.in. Haakon Hop, Stig Falk-Petersen, Haarald Steen). Ponadto równie wiele wspólnych inicjatyw z wymienionym gronem ekspertów a zespołem naszej pracowni (Pracownia Funkcjonowania Biocenoz Pelagialu prowadzona przez prof. dr hab. Katarzynę Błachowiak-Samołyk) jest obecnie w toku oraz w planach na kontynuację.

Wspomniana powyżej sieć kontaktów umożliwiła mi znaczne poszerzenie spektrum badanych zagadnień. Szczególnie tematyka dostępności pokarmu (zooplanktonu) dla



arktycznego ptaka alczyka jest ważnym dodatkowym aspektem prac, w które byłam zaangażowana przed doktoratem [10, 11, 12], oraz po uzyskaniu stopnia doktora [13, 17, 19]. Zakres metodyczny oraz merytoryczny prac, w które byłam zaangażowana został także poszerzony o zagadnienia z dziedziny akustyki [9, 21] i optyki [7, 11, 15, 16] morza.

Pierwszą zaaranżowaną przeze mnie współpracę zagraniczną rozpoczęłam w 2010 roku z Sünnje Basedow (obecnie Senior Scientist z 'permanent position' na Uniwersytecie w Tromsø). Współpraca ta początkowo była swego rodzaju mentoringiem - zgłosiłam się do dr Basedow jako do jednego z światowych ekspertów od wykorzystania laserowego licznika planktonu – urządzenia, które dostarczyło kluczowych wyników do dwóch artykułów z mojego doktoratu [8, 9]. Następnie pozyskałam środki na odbycie stażu - Visiting Fellowship Award founded by Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO) and Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), który odbyłam w 2012 roku w ówczesnej jednostce jej zatrudnienia - University of Nordland (Bodø, Norwegia). Tam opracowałyśmy wspólnie modelowe szacunki produkcji wtórnej w fiordzie Hornsund, które wspólnie opublikowałyśmy w roku 2014 w czasopiśmie Journal of Marine Systems [9]. Od tego czasu regularnie współpracujemy, m.in. byłam jednym z wykonawców jej pierwszego dużego grantu (SeaPatches), którego wyniki opublikowaliśmy w czasopiśmie Scientific Reports w roku 2019 [18]. Wielokrotnie brałyśmy razem udział w warsztatach, konferencjach, rejsach badawczych. Aktualnie pracujemy wspólnie w dwóch grantach norweskich (GONAD, PolarFront) oraz zostałam zaproszona do jej nowego projektu (Nemo), aktualnie złożonego do Norwegian Research Council.

Z racji lokalizacji moich badań oscylujących wokół Spitsbergenu, współpraca z partnerami norweskimi jest najbardziej intuicyjnym wyborem. Należy więc tu wspomnieć prof. Paula Renaud (Akvaplan-niva), którego poznałam na rejsie w roku 2009, z którym w latach 2014-2017 pracowałam w projekcie polsko-norweskim DWARF, a obecnie jestem reprezentantem Instytutu Oceanologii PAN i członkiem Steering Committee jego nowego dużego projektu norweskiego (PolarFront). Współpraca z Claudią Halsband (obecnie Senior Scientist w Akvaplan-niva) rozpoczęła się podczas wspólnie przeprowadzonych eksperymentów na rejsie w 2017 roku na statku „Helmer Hanssen”. Dyskusje o obserwacjach dotyczących podjętych prac eksperymentalnych zachęciły nas do napisania wspólnego projektu (GONAD), we współpracy z Sünnje Basedow oraz prof Barbarą Niehoff (AWI, Niemcy), co rozpoczęło kolejną drogę do przyszłej współpracy międzynarodowej (pracujemy aktualnie nad 2 wspólnymi publikacjami).



Podczas konferencji ICES 6th Zooplankton Production Symposium, która miała miejsce w 2016 w Bergen spotkałam prof. Larsa Stemmana (Sorbonne Universite), z którym odbyłam niezwykle interesującą i inspirującą dyskusję na temat prezentowanych przeze mnie wyników. Rozmowa ta wzbudziła ogromną chęć, by nawiązać z nim współpracę oraz całą jego dynamiczną grupą z Laboratoire d’Oceanographie de Villefranche. W tym celu pozyskałam środki na odbycie rocznego stypendium w tej jednostce francuskiej (grant ministerialny Mobilność Plus). Dzięki tej współpracy poszerzyłam swój warsztat metodyczny o wykorzystanie Underwater Vision Profiler (UVP) w celu lepszego poznania morfologii materii zawieszanej oraz planktonu. Wraz z prof. Larsem Stemmannem opracowaliśmy wspólnie nowatorskie podejście metodyczne do analizy morfo-ekologicznej śniegu morskiego, której wyniki opublikowaliśmy w prestiżowym czasopiśmie Nature Communications [6] oraz którą wykorzystyłam pracując w polskim projekcie CoastDark [15]. Podczas mojej pracy w laboratorium w Villefranche należącego do Sorbonne Universite miałam także okazję zapoznać się z naukowcami ściśle pracującymi z prof. Stemmannem. W efekcie nawiązanej współpracy z tą grupą badaczy powstaje obecnie kilka publikacji, których jestem współautorem (w tym jedna w trakcie recenzji w czasopiśmie Nature, jedna po recenzjach w czasopiśmie ESSD, trzy w przygotowaniu). Ponadto wraz z pomocą szerokiego grona międzynarodowych ekspertów złożyliśmy wspólnie grant europejski (Marie Skłodowska-Curie Actions call: HORIZON-MSCA-2021-DN-01) na stworzenie sieci doktorskiej dotyczącej wykorzystania ‘machine learning’ do badań planktonu. Zostałam także członkiem komitetu doktorskiego jednej z podopiecznych profesora, która realizuje swoje badania pod egidą Sorbonne Universite (Laure Vilgrain). Doktorantka ta odbyła także pod moim kierunkiem staż w IOPAN (kwiecień 2021) w ramach pozyskanych środków z europejskiego źródła finansowania ASSEMBLE Plus.

Ostatnie dwa lata pracując jako post-doc w projekcie CoastDark pogłębiałam wiedzę dotyczącą wpływu wytapiania lodowców na strukturę planktonu oraz zawiesin morskich w przybrzeżnych wodach Spitsbergenu [3, 14, 15]. Ponieważ to zagadnienie należy także do pola zainteresowań zespołu z Instytutu Geofizyki PAN, nawiązaliśmy współpracę z dr hab. Mateuszem Moskalikiem, czego rezultatem jest mój udział w jego projekcie polsko-norweskim (RAW) w roli eksperta od ekologii planktonu w wodach przylodowcowych.

Ponadto, biorąc aktywny udział w licznych konferencjach, rejsach, stażach, warsztatach, czy pracując w projektach zagranicznych nawiązałam także szereg innych kontaktów, które zaowocowały niekiedy nawet przyjaźnią, co stanowi cenne dopełnienie dla





współpracy *stricto* naukowo-badawczej opisanej powyżej z ekspertami reprezentujących szerokie spektrum tematyczno-geograficzne.

### 5.3. Staże i kursy naukowe

1. 2016 - PERMANOVA workshop. Auckland, New Zeland
2. 2012 - EURO-BASIN Training Workshop on Optical Methods in Plankton Taxonomy. Hamburg, Germany
3. 2011 - The Young Scientist Forum workshop. Tromsø, Norway
4. 2011 - DHI MIKE course 'Marine Modelling with Flexible Mesh'. Sopot, Poland
5. 2011 - Statistical methods in ecology - workshop. Toruń, Poland
6. 2011 - Arctic Tipping Points PhD Summer School. Climate change, marine ecosystems and tipping points in the Arctic Ocean. Tromsø, Norway
7. 2009 - Matlab – The MathWorks training course (ML01). Kraków, Poland
8. 2008 - The Volker Schmid Training Course on „Experimental Developmental Biology of Marine Invertebrates" [Marbef]. Roscoff, France
9. 2008 - ZOOSCAN Training course. Villefranche, France

### 5.4. Recenzje manuskryptów

Przed uzyskaniem stopnia doktora wykonałam 2 recenzje artykułów naukowych, a po uzyskaniu stopnia było to 17 recenzji w czasopismach:

Deep Sea Research x 1 (2018)

Earth System Science Data x 2 (2015, 2020)

Estuaries & Coasts x 1 (2022)

Frontiers in Marine Science x 3 (2019, 2020, 2022)

ICES Journal of Marine Science x 1 (2021)

Journal of Biogeography x 1 (2020)

Journal of Plankton Research x 1 (2021)

Limnology & Oceanography x 1 (2020)

Marine Biology Research x 1 (2020)

Marine Ecology Progress Series x 1 (2020)

Marine Environmental Research x 1 (2021)

Molecular Ecology x 1 (2016)



PeerJ x 1 (2019)

Plankton & Benthos Research x 1 (2022)

Scientific Reports x 1 (2020)

Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy x 1 (2019)

## **6.0. Aktywności dydaktyczne oraz popularyzujące naukę**

### **6.1. Publikacje popularno-naukowe i działania popularyzatorskie**

2010 & 2011: Stanowisko popularyzatorskie promujące działania projektu ALKEKONGE, Bałtycki Festiwal Nauki: Sopotki Piknik Naukowy

2012: Stanowisko popularyzatorskie pt. „Restauracja pod Calanusem – jak arktyczne ptaki planktonożerne wybierają pokarm”. 16 Piknik Naukowy, Centrum Badań Ziemi i Planet (GeoPlanet) - Instytut Geofizyki PAN

2013: wystąpienie w filmie „Mały alczyk, wielka sprawa”

2016: Wykład popularnonaukowy dla młodzieży szkolnej pt. „W poszukiwaniu tego większego, czyli arktyczna proza życia ptaka alczyka” w Poznaniu podczas wydarzenia Noc Biologów

2021: Wykład pt. „Cechy morfologiczne „śniegu morskiego” a dynamika zakwitów fitoplanktonu w Arktyce” na spotkaniu Towarzystwa Hydrobiologicznego

2013: artykuł popularnonaukowy w czasopiśmie Kosmos – Problemy Nauk Biologicznych, Trudnowska E., Balazy P. „Nowe techniki w badaniach morskich ekosystemów polarnych”, 62, 3, 419-426

2022: artykuł popularnonaukowy w czasopiśmie Frontiers for Young Minds autorstwa Szeligowska M, Benkort D, Trudnowska E Błachowiak-Samołyk K. pt „How Do Dark Streams of Arctic Glacial Meltwater Affect Plankton? 10:745930. doi: 10.3389/frym.2022.745930

2019-2020: członek Task Force, Svalbard Integrative Arctic Earth Observing System (SIOS)

od 2010: członek ARCTOS (Arctic Marine Ecosystem Research Network)

### **6.2. Doświadczenie dydaktyczne i opieka nad doktorantami**

2021: Wykład pt. „Calanus w ocieplającej się Arktyce” dla studentów Biologii Uniwersytetu Gdańskiego.



2017: Wykład pt. „LOPC i optyczne metody badania planktonu” dla doktorantów Wydziału Oceanografii i Geografii UG

2016 & 2017: Zajęcia terenowe na statku IO PAN „Oceania” dla studentów szkoły doktorskiej KNOW Zapoznanie się z technikami zbioru prób planktonowych i in. pomiarów w pelagialu.

2016 & 2017: Wykład pt. „Laserowy optyczny licznik planktonu - nowe możliwości w badaniach struktury wielkościowej planktonu.” dla studentów szkoły doktorskiej KNOW

Promotor pomocniczy: Kaja Bałazy (wyróżniona rozprawa doktorska): “The phenology of key *Calanus* species in the context of food demand of little auk (*Alle alle*) nesting on Spitsbergen”. Promotor wiodący: prof dr hab. Katarzyna Błachowiak-Samołyk. Szkoła: Centre for Polar Studies, Leading National Research Centre. Obrona: Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk; data nadania stopnia: 16.04.2019; Dziedzina: Nauki ścisłe i przyrodnicze, Dyscyplina: Nauki o Ziemi i środowisku.

Promotor pomocniczy: Marlena Szeligowska (od 2019 roku), doktorat realizowany w ramach Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej przy Centrum Studiów Polarnych w Uniwersytecie Śląskim oraz realizacji projektu CoastDark (OPUS) pt. „Modelling the content(plankton vs. particles) of the Spitsbergen coastal waters under different scenarios of environmental changes”. Promotor wiodący: prof dr hab. Katarzyna Błachowiak-Samołyk

Promotor pomocniczy: Emily Chen (od 2021 roku), doktorat realizowany w ramach Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej przy Centrum Studiów Polarnych w Uniwersytecie Śląskim oraz realizacji projektu Bi-Polarity (Preludium Bis) pt. „Life at both edges of the globe – bipolarity concept tested on pelagic ostracods.” promotor wiodący: prof dr hab. Katarzyna Błachowiak-Samołyk

.....  
(podpis wnioskodawcy)