

## Autoreferat

1. Imię i nazwisko: **Anna Iglíkowska**

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

- 1999-2004 – studia na wydziale Biologii, Geografii i Oceanologii (Uniwersytet Gdański), Katedra Genetyki

- 30 czerwca 2004 – uzyskanie tytułu magistra, tytuł pracy magisterskiej „Małżoraczki (Ostracoda) jeziora Inari i okolic (fińska Laponia)”, promotor pracy: prof. dr hab. Tadeusz Sywula

- 2002-2007 – studia na Akademii Muzycznej im. S. Moniuszki w Gdańsku, Wydział Instrumentalny

- 16 czerwca 2007 – uzyskanie tytułu magistra sztuki, tytuł pracy magisterskiej „Problem koncentracji uwagi u pianistów”, promotor pracy: dr Paweł Rydel

- 2004-2009 – studia doktoranckie na wydziale Biologii Uniwersytetu Gdańskiego, Katedra Genetyki

- 5 listopada 2010 – uzyskanie tytułu doktora nauk biologicznych, tytuł pracy doktorskiej „Wpływ czynników abiotycznych na występowanie i różnorodność małżoraczek (Ostracoda) w wybranych środowiskach wód śródlądowych Laponii i Polski”, promotor pracy: prof. dr hab. Tadeusz Namiotko

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

- 10 listopada 2010-30 czerwca 2017 – w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, Zakład Ekologii Morza

2010-2012 na stanowisku ‘oceanograf’ (etat techniczny)

2012-2017 na stanowisku adiunkta (etat naukowy)

- 1 października 2019-aktualne miejsce pracy – Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Katedra Genetyki Ewolucyjnej i Biosystematyki na stanowisku adiunkta

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:

**Czynniki kształtujące bioakumulację pierwiastków chemicznych w szkieletach morskich bezkręgowców w Arktyce**

- 1) Iglkowska, A., Beldowski, J., Chełchowski, M., Chierici, M., Kędra, M., Przytarska, J., Sowa, A., Kukliński, P. 2017. Chemical composition of two mineralogically contrasting Arctic bivalves' shells and their relationships to environmental variables. *Marine Pollution Bulletin* 114 (2): 903-916.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- współudział w poborze materiału badawczego w terenie w ramach rejsu badawczego statku *Oceania AREX 2014*
- współudział w wykonaniu prac laboratoryjnych – oczyszczanie badanych organizmów oraz mineralizacja poprzedzająca analizę chemiczną
- opracowanie i interpretacja danych – analiza statystyczna i wizualizacja
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

- 2) Iglkowska, A., Najorka, J., Voronkov, A., Chełchowski, M., Kukliński, P. 2017. Variability in magnesium content in Arctic echinoderm skeletons. *Marine Environmental Research* 129: 207-218.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań

- pobór materiału badawczego w terenie w ramach norweskiego rejsu badawczego statku *Johan Hjort* 2015
- współudział w wykonaniu prac laboratoryjnych – wypreparowanie szkieletów badanych organizmów oraz ich homogenizacja
- wykonanie analiz XRD
- opracowanie i interpretacja danych – analiza statystyczna i wizualizacja
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

3) Iglkowska, A., Borszcz, T., Drewnik, A., Grabowska, M., Humphreys-Williams, E., Kędra, M., Krzemińska, M., Piwoni-Piórewicz, A., Kukliński, P. 2018. Mg and Sr in Arctic echinoderm calcite: Nature or nurture?. *Journal of Marine Systems* 180: 279-288.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- współudział w wykonaniu prac laboratoryjnych – mineralizacja poprzedzająca analizę chemiczną
- wykonanie analiz pierwiastkowych metodą ICP AES
- opracowanie i interpretacja danych – analiza statystyczna i wizualizacja
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

4) Iglkowska, A., Ronowicz, M., Humphreys-Williams, E., Kukliński, P. 2018. Trace element accumulation in the shell of the Arctic cirriped *Balanus balanus*. *Hydrobiologia* 818 (1): 43-56.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- współudział w poborze materiału badawczego w terenie w ramach rejsu badawczego statku *Oceania AREX* 2014
- współudział w wykonaniu prac laboratoryjnych – mineralizacja poprzedzająca analizę chemiczną
- współudział w opracowaniu i interpretacji danych – analiza statystyczna, numeryczna oraz wizualizacja

- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

5) Iglíkowska, A., Humphreys-Williams, E., Przytarska, J., Chelchowski, M., Kukliński, P. Minor and trace elements in skeletons of Arctic echinoderms. 2020. *Marine Pollution Bulletin* 158, 111377.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- współudział w poborze materiału badawczego w terenie w ramach norweskiego rejsu badawczego statku *Johan Hjort* 2015
- współudział w wykonaniu prac laboratoryjnych – wypreparowanie i homogenizacja szkieletów oraz mineralizacja poprzedzająca analizę chemiczną
- wykonanie analiz pierwiastkowych metodą ICP AES
- opracowanie i interpretacja danych – analiza statystyczna, numeryczna oraz wizualizacja
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

6) Iglíkowska A., Krzemińska M., Renaud P., Berge J., Hop H., Kuklinski P. 2020. Summer and winter Mg levels in skeleton of Arctic bryozoans. *Marine Environmental Research*: 105166.

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- wykonanie analiz XRD
- opracowanie i interpretacja danych – analiza statystyczna i wizualizacja
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (główny autor)

Numer publikacji	Czasopismo	Rok publikacji	IF/IF 2022*	Liczba punktów MNiSW/MEiN**	Kwartyl***
1	Marine Pollution Bulletin	2017	3,241/5,553	40/100	1
2	Marine Environmental Research	2017	3,159/3,13	35/100	1
3	Journal of Marine Systems	2018	2,539/2,542	40/100	2
4	Hydrobiologia	2018	2,325/2,822	30/100	2
5	Marine Pollution Bulletin	2020	5,553/5,553	100/100	1
6	Marine Environmental Research	2020	3,13/3,13	100/100	1

\*IF w roku publikacji/IF 2-letni za lata 2021-2022

\*\*według załącznika do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki w roku publikacji/z dnia 1 grudnia 2021 r.

\*\*\*według Web of Science Core Collection

## Wstęp

Podstawą rozprawy habilitacyjnej jest cykl sześciu artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Tematem przewodnim cyklu jest bioakumulacja pierwiastków (makroelementów, mikroelementów oraz pierwiastków śladowych) w szkieletach różnych grup systematycznych bezkręgowców bentonicznych zamieszkujących morza Arktyki.

Postępujące zmiany klimatyczne w sposób szczególny dotyczą ekosystemy polarne (np. Andersson i in. 2008). Najnowsze badania przewidują, że temperatura powietrza rośnie dwukrotnie szybciej w Arktyce, niż średnie tempo ocieplenia w pozostałych częściach globu (IPCC 2021). Podniesienie temperatury powietrza zwiększa topnienie lodowców i zanikanie lodu morskiego, co skutkuje wysładzeniem wód morskich oraz ekspozycją wód powierzchniowych na wzmożoną absorpcję atmosferycznego dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). W wodzie morskiej rozpuszczony CO<sub>2</sub> przyjmuje głównie postać jonu wodorowęglanowego (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i kwasu węglowego (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), które w większych stężeniach wpływają na obniżenie pH wód morskich. Zjawisko to zwane jest zakwaszeniem oceanu (np. Feely i in. 2004). Obniżające się pH wód może wpływać na procesy fizjologiczne organizmów morskich, takie, jak aktywność metaboliczna, wzrost, rozwój, reprodukcja i wiele innych (Michaelidis i in. 2005, Miles i in. 2007). Niskie pH wód morskich ogranicza również dostępność węglanów dla morskich bezkręgowców, co ma kluczowe znaczenie u gatunków produkujących zbudowane z węglanu wapnia (CaCO<sub>3</sub>) muszle i szkielety (Fabry i in. 2008).

Węglanowy szkielet zewnętrzny stanowi dla organizmu swoistą tarczę chroniącą przed drapieżnikami, a także przed wpływem niekorzystnych warunków abiotycznych środowiska. Ponadto szkielet osłania przed uszkodzeniami mechanicznymi delikatne narządy wewnętrzne oraz stanowi podporę dla mięśni i ścięgien. Dla wielu bezkręgowców morskich muszla lub szkielet stanowią również rezerwuuar wapnia, który w razie deficytu, może być wykorzystywany w procesach metabolicznych (Weiner i Addadi 1997, Alyakrinskaya 2005). Istnieją dwie główne odmiany polimorficzne węglanu wapnia wykorzystywane przez zwierzęta bezkręgowce do produkcji szkieletu – aragonit i kalcyt. Oba minerały mają identyczny skład chemiczny ( $\text{CaCO}_3$ ), ale różnią się strukturą krystaliczną: aragonit charakteryzuje się układem krystalograficznym rombowym, a kalcyt – trygonalnym. Bezkręgowce morskie mogą syntetyzować szkielety w całości aragonitowe lub w całości kalcytowe, ale niektóre grupy systematyczne są zdolne do produkcji obu minerałów jednocześnie w jednej muszli (tzw. szkielety bimineralne) (Lowenstam i Weiner 1989). Istnieje szereg dowodów potwierdzających, że produkcja konkretnego minerału, z którego zbudowany jest szkielet jest zdeterminowana genetycznie i wspólna dla bliskich filogenetycznie gatunków (np. Taylor i in. 1969). Aragonit i kalcyt różnią się stabilnością chemiczną w wodzie morskiej, a także właściwościami mechanicznymi. Generalnie aragonit ma bardziej zwartą strukturę, dlatego uznawany jest za twardszy i mocniejszy mechanicznie minerał, jest zatem bardziej solidnym materiałem szkieletowym (Jackson i in. 1988). Jednak metastabilny aragonit charakteryzuje się większą podatnością na rozpuszczanie w chłodnych wodach Arktyki, co sprawia, że organizm musi wydatkować więcej energii na utrzymanie zwanego, w pełni wysyconego węglanami szkieletu (np. Andersson i in. 2008).

Węglanowy szkielet jest budowany przez organizm w procesie kalcyfikacji (biomineralizacji). Proces kalcyfikacji polega na syntezie szkieletu z dostępnych w wodzie morskiej pierwiastków, przy czym w skład szkieletu, poza jonami wapnia i jonami węglanowymi, wchodzi również pierwiastki śladowe. Niektóre pierwiastki śladowe (np. Mg, Sr) wpływają na polepszenie parametrów mechanicznych szkieletu (Kunitake i in. 2012), zaś inne (np. Zn, Cd) zniekształcają sieć krystaliczną szkieletu, co często wpływa niekorzystnie na stabilność chemiczną węglanu (Reeder 1983). Istnieje szereg czynników regulujących pobór i wbudowywanie pierwiastków chemicznych w strukturę krystaliczną szkieletu przez bezkręgowce morskie. Wśród czynników biologicznych możemy wymienić aktywność metaboliczną organizmu, tempo wzrostu, dietę, rodzaj syntetyzowanego minerału (aragonit lub kalcyt), a także regulację genetyczną (np. Morrison i Brand 1986). Na skład chemiczny szkieletu mogą również wpływać czynniki środowiskowe takie, jak temperatura wody

morskiej, jej zasolenie, pH oraz wysycenie węglanem wapnia (oznaczane symbolem  $\Omega$ ), stężenie metali w otaczającej wodzie i osadzie dennym, biodostępność tychże metali i wiele innych (np. Morrison i Brand 1986).

Niniejsza rozprawa habilitacyjna koncentruje się na zbadaniu czynników, które mogą regulować bioakumulację pierwiastków w szkieletach różnych gatunków bezkręgowców morskich w Arktyce. Celem nadrzędnym pracy jest oszacowanie na ile kalcyfikacja u bezkręgowców morskich jest procesem biernym, kształtowanym jedynie/głównie przez warunki abiotyczne, a w jakim stopniu jest to proces kontrolowany fizjologicznie przez organizm. Jeżeli synteza szkieletu jest regulowana wyłącznie przez środowisko zewnętrzne, wówczas w przeciągu najbliższych 100 lat spodziewane zmiany w chemizmie węglanów wód morskich Arktyki mogą wytworzyć bariery fizyko-chemiczne skutecznie utrudniające tworzenie i utrzymywanie węglanowego szkieletu (np. Fabry i in. 2008). Natomiast w przypadku gdy proces kalcyfikacji jest w znacznym stopniu regulowany biologicznie przez organizm, daje to szansę na rozwinięcie adaptacji do syntezy szkieletu nawet w warunkach niesprzyjających. Chociaż z pewnością przeprowadzanie efektywnej kalcyfikacji w warunkach niskiej dostępności węglanów będzie bardzo kosztowne energetycznie, co może wpłynąć niekorzystnie na inne procesy fizjologiczne, jak magazynowanie energii, czy reprodukcję, obniżając ogólne dostosowanie organizmów.

Bezkręgowce kalcyfikujące są liczny, różnorodny i ekologicznie istotnym składnikiem zbiorowisk bentosowych w Arktyce. Organizmy kalcyfikujące reprezentują zróżnicowane grupy systematyczne i ekologiczne. Wśród nich możemy wymienić organizmy planktonowe (ślimaki Pteropoda), organizmy bentosowe prowadzące osiadły tryb życia (mszywioły - Bryozoa, wąsonogi - Cirripedia, liliowce - Crinoidea) oraz bezkręgowce zdolne do poruszania (różne grupy skorupiaków - Crustacea, wieloszczety kalcyfikujące - Serpulidae, chitony - Polyplacophora, małże - Bivalvia, ślimaki - Gastropoda, ramienionogi - Brachiopoda, pozostałe gromady szkarłupni - Asteroidea, Ophiuroidea, Echinoidea, Holothuroidea i inne). Posiadanie solidnego szkieletu warunkuje przetrwanie organizmów kalcyfikujących. W związku z tym, że skład chemiczny szkieletu ma związek z jego stabilnością chemiczną (np. Reeder 1983), poznanie procesów kształtujących bioakumulację pierwiastków pozwoli na oszacowanie podatności/odporności organizmów na zmieniający się chemizm wód morskich Arktyki oraz pozwoli wyodrębnić grupy taksonomiczne szczególnie zagrożone konsekwencjami zmian klimatycznych w Arktyce.

W obrębie przedstawionej rozprawy habilitacyjnej wszystkie publikacje łączy ten sam teren badań – Arktyka europejska, dodatkowym elementem spajającym są również

zastosowane metody analityczne. W każdej z prac skład mineralny szkieletu został rozpoznany za pomocą techniki XRD (ang. X-ray diffraction). Dyfraktometria rentgenowska pozwoliła na ustalenie odmiany polimorficznej węgla wapnia, jak również ustalenie procentowego udziału minerałów w przypadku organizmów bimineralnych oraz pomiar zawartości magnezytu ( $MgCO_3$ ) w przypadku organizmów tworzących szkielety kalcytowe o zróżnicowanej zawartości magnezu. Do ustalenia składu chemicznego szkieletów wykorzystano nowoczesną i cieszącą się rosnącą popularnością technikę ICP (ICP MS, ang. inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP AES, ang. inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy), bazującą na jonizacji próbki w plazmie sprzężonej indukcyjnie. Wykorzystanie tych samych metod analitycznych (a często wręcz tych samych maszyn) pozwala na wiarygodne porównanie uzyskanych wyników, a także podkreśla wzajemne powiązanie prac w ramach cyklu.

**Publikacja 1:** Chemical composition of two mineralogically contrasting Arctic bivalves' shells and their relationships to environmental variables

Pierwsza z publikacji dotyczy wpływu składu mineralnego (tzw. mineralogii) muszli małży na proces akumulacji pierwiastków śladowych w sieci krystalicznej węgla. Jako organizmy modelowe wybrano dwa pospolicie występujące w Arktyce gatunki małży: przegrzebka *Chlamys islandica* (O.F. Müller, 1776) oraz sercówkę *Ciliatocardium ciliatum* (Fabricius, 1780). Małże te różnią się mineralogią muszli: przegrzebki mają muszle zbudowane głównie z kalcytu, a sercówki wytwarzają muszle aragonitowe. Ponadto gatunki te zamieszkują różne siedliska: przegrzebki zasiedlają powierzchnię dna twardego, natomiast sercówki żyją zagrzebane w osadzie dna miękkiego. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że muszle aragonitowe wydają się być bardziej podatne na wiązanie jonów metali (innych niż Ca), co najprawdopodobniej wynika z ich struktury krystalicznej. Jednak aragonitowe sercówki, egzystując w osadzie dennym, są wyeksponowane na inne warunki abiotyczne, niż przegrzebki. Osad denny charakteryzują zmienne i złożone warunki chemiczne, a powstały w wyniku mineralizacji osadu  $CO_2$  może obniżać pH nawet o 1 jednostkę w stosunku do wartości obserwowanej w wodzie morskiej ponad osadem (Fenchel i Riedl 1970). Wyniki wcześniejszych badań wskazują, że znaczna część metali jest w warunkach obniżonego pH uwalniana z osadu do roztworu wody morskiej (Millero i in. 2009), stając się tym samym łatwiej dostępna dla organizmów żywych (Pascal i in. 2010, Lacoue-Labarthe i in. 2009, 2011). Uzyskane dane sugerują, że sercówki mają tendencję do włączania większej ilości „zanieczyszczeń” metalicznych do sieci krystalicznej aragonitu, gdyż żyją w siedlisku



wyróżniającym się niższym pH, gdzie jony metali są dla nich łatwiej dostępne. W konsekwencji wyższe stężenia zanieczyszczeń mogą zwiększać zniekształcenie kryształów aragonitu, powodując niższą stabilność sieci krystalicznej i większą podatność na rozpuszczanie. W związku z tym, że zdecydowana większość małży żyjących w osadzie dennym posiada muszle aragonitowe, gatunki te musiały rozwinąć w toku ewolucji strategię chroniącą przed degradacją chemiczną sieci krystalicznej muszli. Wcześniejsze badania innych autorów wskazują, że wszystkie gatunki żyjące w osadzie dennym posiadają relatywnie grubą (Harper 1997: nawet 317  $\mu\text{m}$ ) organiczną warstwę rogową (*periostracum*), która chroni powierzchnię muszli przed rozpuszczeniem. Dla porównania *periostracum* produkowane przez gatunki zasiedlające powierzchnię dna twardego jest znacznie cieńsze (Harper 1997:  $< 1 \mu\text{m}$ ). W muszlach żyjącego na powierzchni dna twardego przegrzebka odnotowano w niniejszej pracy niskie stężenia metali. Wydaje się, że muszle kalcytowe są mniej podatne na wiązanie jonów metali, niż te zbudowane z aragonitu. Najprawdopodobniej synteza kalcytu odbywa się pod ścisłą kontrolą biologiczną organizmu (Carter i in. 1998) i pobieranie jonów z otaczającej wody morskiej jest w związku z tym bardziej selektywne. W ten sposób sieć krystaliczna kalcytu jest mniej zanieczyszczona innymi metalami i dzięki temu mniej podatna na rozpuszczanie.

## **Publikacja 2:** Variability in magnesium content in Arctic echinoderm skeletons

Druga praca jest poświęcona akumulacji magnezu w szkielecie u 30 różnych gatunków szkarłupni reprezentowanych przez wszystkie pięć gromad: rozgwiazdy Asteroidea, jeżowce Echinoidea, wężowidła Ophiuroidea, strzykwy Holothuroidea i liliowce Crinoidea. Magnez jest w syntezie kalcytu pierwiastkiem szczególnym, dlatego, że wpływa na poprawienie parametrów mechanicznych szkieletu (Kunitake i in. 2012, Long i in. 2014). Im wyższa zawartość magnezu w kalcytowym szkielecie, tym szkielet jest twardszy, bardziej sprężysty i elastyczny (Ma i in. 2008). Niestety, w zimnych wodach Arktyki, kalcyt o wysokiej zawartości magnezu jest metastabilny i łatwo rozpuszcza się w wodzie (Raz i in. 2000, Dubois 2014), stąd dla organizmów kalcyfikujących energetyczne koszty produkcji takiego szkieletu mogą być bardzo wysokie. W związku z tym, że szkarłupnie znane są z tego, że ich szkielety zawierają wysokie zawartości magnezu (Schroeder i in. 1969: maks. 43,5 mol%  $\text{MgCO}_3$ ) spodziewamy się, że są one grupą szczególnie narażoną na zmiany chemizmu wód morskich w Arktyce. Na podstawie przeprowadzonych przeze mnie badań stwierdzono, że stężenie Mg w szkieletach szkarłupni jest charakterystyczne nie tylko dla poszczególnych gromad szkarłupni, ale nawet specyficzne dla gatunku. Najwyższe zawartości Mg zaobserwowano u rozgwiazd, nieco niższe

u węzowideł, liliowców i strzykw, a najniższe u jeżowców. Uzyskane wyniki wskazują, że gatunki o szkieletach w znacznym stopniu odizolowanych od wody morskiej, tzn. produkowanych wewnątrz organizmu, są zdolne do produkcji twardego i sprężystego szkieletu o wysokiej zawartości magnezu. W przypadku rozgwiazd szkielet jest osłonięty grubą warstwą skóry, a także warstwą tkanki łącznej, dzięki czemu wysokomagnezowy kalcyt tworzący szkielet nie kontaktuje się bezpośrednio z wodą morską. U jeżowców elementy szkieletowe są w największym stopniu wyeksponowane na wpływ wody morskiej. Pokryte jedynie cienkim naskórkiem kolce jeżowców są zbudowane z kalcytu o znacznie niższej zawartości magnezu, co sprawia, że są one mniej podatne na rozpuszczenie w warunkach niskich temperatur i niskiej dostępności węglanów. Wyniki te silnie sugerują, że zawartość magnezu w szkielecie szkarłupni stanowi swoisty kompromis: produkcja możliwie najtwardszego szkieletu przy zachowaniu możliwie niskich kosztów jego produkcji. Tego typu zależność wskazuje na udział selekcji naturalnej w kształtowaniu obserwowanej strategii kalcyfikacji u arktycznych szkarłupni, a co za tym idzie wspiera tezę o biologicznej (najprawdopodobniej genetycznej) regulacji stężenia Mg w szkielecie.

### **Publikacja 3:** Mg and Sr in Arctic echinoderm calcite: Nature or nurture?

Celem badań przedstawionych w kolejnej publikacji była odpowiedź na pytanie czy rozkład pierwiastków szkieletotwórczych (Mg i Sr) jest jednorodny w obrębie organizmu, czy też poszczególne części ciała charakteryzują się zróżnicowanym stężeniem obu pierwiastków. W badaniu wykorzystano 10 gatunków arktycznych szkarłupni reprezentujących trzy gromady: rozgwiazdy, węzowidła i jeżowce. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono istotne różnice w zawartości magnezu i strontu pomiędzy poszczególnymi częściami ciała u jeżowców, nie stwierdzono natomiast żadnych wyraźnych trendów w rozmieszczeniu pierwiastków szkieletotwórczych w częściach ciała u rozgwiazd i węzowideł.

Najniższe zawartości Mg i Sr wykryto w kolcach jeżowców, natomiast elementy składowe narządów gębowych (latarni Arystotelesa) charakteryzowały się najwyższymi zawartościami Mg i Sr. Latarnia Arystotelesa jest wykorzystywana przez jeżowce do pozyskiwania pokarmu (zeskrobywanie flory i fauny porośłowej z powierzchni dna i kamieni), a także zagrzebywania w osadzie, drążenia jam w twardym podłożu i w pewnym stopniu do lokomocji (Candia Carnevalli i in. 1993). Prawdopodobnie narządy gębowe u jeżowców ulegają większym obciążeniom mechanicznym w porównaniu z innymi częściami ciała, a wyższa koncentracja Mg w latarni Arystotelesa przyczynia się do zwiększenia twardości i

wytrzymałości elementów szkieletowych. Fakt umiejscowienia narządów gębowych wewnątrz ciała sprawia, że latarnia Arystotelesa jest w niewielkim stopniu wyeksponowana na wpływ wody morskiej, dzięki czemu kalcyt wysokomagnezowy jest w mniejszym stopniu narażony na rozpuszczanie. Z kolei kolce jeżowców są wysoce wyeksponowane na bezpośredni wpływ wody morskiej, stąd niska zawartość Mg może sprawiać, że będą one w mniejszym stopniu podatne na rozpuszczanie, chociaż kosztem będą słabsze właściwości mechaniczne takich kolców. Niejednorodne stężenia Mg i Sr w różnych częściach szkieletu jeżowców sugerują, że organizm ma możliwość regulacji rozmieszczenia pierwiastków chemicznych w obrębie poszczególnych elementów szkieletu.

**Publikacja 4:** Trace element accumulation in the shell of the Arctic cirriped *Balanus balanus*

Czwarty artykuł koncentruje się na pojedynczym gatunku osiadłym: pąkli *Balanus balanus* (Linnaeus, 1758), reprezentującej skorupiaki z gromady wąsonogów Cirripedia. Głównym celem badania było przetestowanie dwóch hipotez: 1) rozmieszczenie pierwiastków chemicznych (Ba, Ca, Mg, Mn, Na, P, S i Sr) w obrębie szkieletu *B. balanus* jest w znacznym stopniu kontrolowane biologicznie, a czynniki środowiskowe mają jedynie niewielki wpływ na jego skład chemiczny; 2) rozmiar osobnika nie ma wpływu na koncentrację i rozmieszczenie pierwiastków chemicznych w szkielecie *B. balanus*. Na podstawie przeprowadzonych badań ujawniono różnice w składzie chemicznym pomiędzy różnymi częściami szkieletu. Ponieważ wszystkie płytki szkieletu osobnika są syntezowane w tych samych warunkach środowiskowych (organizm dorosły prowadzący osiadły tryb życia), różne wzorce akumulacji mogą wskazywać na biologiczną kontrolę rozmieszczenia pierwiastków w obrębie szkieletu. Najbardziej wyróżniającą się płytką szkieletową było *operculum* charakteryzujące się wyraźnie wyższymi stężeniami Mg, S i Sr. Wcześniejsze badania dowiodły, że Mg i Sr poprawiają właściwości mechaniczne szkieletu, natomiast siarka jest pierwiastkiem, który zwykle jest łączony z obecnością materii organicznej powiązanej ze szkieletem (Cusack i in. 2008: zawierające siarkę aminokwasy, Gorzelak i in. 2013: siarczanowane polisacharydy). *Balanus* otwiera *operculum* kiedy wystawia swoje pierzaste odnóża w celu pozyskania pokarmu, natomiast *operculum* jest zamykane, gdy organizm chce uniknąć niekorzystnych czynników środowiskowych (np. drapieżników lub braku wody podczas odpływu). Uzyskane wyniki sugerują, że selektywny pobór pierwiastków budujących *operculum* może być związany z wymaganymi właściwościami mechanicznymi tej części szkieletu, a zatem prawdopodobne jest, że określony skład chemiczny *operculum* poprawia właściwości adaptacyjne organizmu.

W przypadku większości badanych pierwiastków nie wykryto żadnej zmienności składu chemicznego szkieletu osobników reprezentujących różne kategorie wielkości, pomimo, że rozmiar ciała koreluje z wiekiem, a co za tym idzie z aktywnością metaboliczną pąkli. Wyjątek stanowi bar (Ba), którego stężenie okazało się być wprost proporcjonalne do rozmiaru ciała pąkli. W związku z tym najmłodsze osobniki charakteryzowały się najniższymi stężeniami Ba, a w coraz to większych i starszych osobnikach stężenie Ba było coraz wyższe. Możliwym wytłumaczeniem tej zależności jest brak mechanizmu fizjologicznego eliminacji Ba z sieci krystalicznej szkieletu. Wyniki przeprowadzonego badania potwierdziły obie przedstawione hipotezy.

#### **Publikacja 5:** Minor and trace elements in skeletons of Arctic echinoderms

Piąta publikacja cyklu znów dotyczy szkarłupni, ale tym razem koncentruje się na bioakumulacji aż 12 mikroelementów i pierwiastków śladowych (Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Sr, Zn) u pięciu gatunków (dwóch gatunków rozgwiazd – *Ctenodiscus crispatus* (Bruzelius, 1805) i *Pontaster tenuispinus* (Düben & Koren, 1846), dwóch gatunków węzowideł – *Ophiopholis aculeata* (Linnaeus, 1767) i *Ophiura sarsii* Lütken, 1855 oraz jednego gatunku liliowca – *Heliometra glacialis* (Owen, 1833)) zamieszkujących Morze Barentsa. W badanym regionie warunki hydrologiczne kształtowane są przez dwa różne typy mas wodnych – cieplejsze i silniej zasolone wody atlantyckie oraz chłodniejsze i mniej zasolone arktyczne masy wody. Na podstawie analiz stwierdzono, że szkielety szkarłupni arktycznych wykazują unikalną, specyficzną dla gatunku kompozycję pierwiastków śladowych, co może sugerować kontrolę biologiczną nad selektywnym poborem pierwiastków użytych do budowy szkieletu. Rozgwiazdy wyróżniały się ogólnie wysokimi stężeniami wszystkich badanych metali (szczególnie K, Na, P i S), natomiast najniższe stężenia pierwiastków stwierdzono u węzowideł. U liliowców odnotowano wysokie stężenie Zn i S, choć koncentracja pozostałych metali była znacząco niższa. W pracy porównywano również bioakumulację pierwiastków w szkielecie pomiędzy osobnikami pochodzącymi z różnych stacji. Zaobserwowano specyficzną dla stacji zawartość w szkielecie Al, Ba, Fe, Mg i Mn, co wskazuje, że akumulacja metali może być kształtowana przez dostępność tychże pierwiastków w wodzie morskiej lub osadzie dennym. Co ciekawe, stwierdzono w szkieletach szkarłupni koncentracje mikroelementów według następującego porządku: Na > S > K > Sr > metale śladowe, co jest zgodne z wzorcem charakterystycznym dla wody morskiej (np. Sverdrup i in. 1970). Ta obserwacja sugeruje, że pomimo dominacji kontroli biologicznej nad bioakumulacją pierwiastków, skład chemiczny

szkieletu jest również w pewnym stopniu kształtowany przez czynniki środowiskowe. Woda morska jest głównym źródłem pierwiastków i jonów potrzebnych do tworzenia szkieletu, a utrzymywanie zbliżonych do wody morskiej stężeń pierwiastków w organizmie najprawdopodobniej zmniejsza koszty energetyczne związane z selektywnym wychwytywaniem jonów. Jednak różnice w składzie chemicznym szkieletu powiązane z miejscem poboru prób nie korelowały z zakresem wpływu ciepłych wód atlantyckich i zimnych arktycznych mas wodnych. Niestety, na podstawie przeprowadzonych badań terenowych nie było możliwe wyłonienie konkretnych czynników abiotycznych kształtujących stężenia pierwiastków chemicznych w szkielecie szkarłupni. Skład chemiczny szkieletu jest efektem akumulacji odbywającej się przez całe życie organizmu (kilka lub kilkanaście lat w przypadku szkarłupni). Wydaje się logistycznie niemożliwe aby monitorować ekspozycję na czynniki abiotyczne aktywnie poruszającego się organizmu w ciągu tak długiego czasu.

#### **Publikacja 6:** Summer and winter Mg levels in skeleton of Arctic bryozoans

Ostatni artykuł cyklu dotyczy organizmów osiadłych – arktycznych mszywiolów Bryozoa. U organizmów prowadzących osiadły tryb życia duże znaczenie mają lokalne warunki abiotyczne, ponieważ zwierzęta te nie są zdolne do ucieczki od niesprzyjających zmian środowiskowych.

Magnez jest ważnym składnikiem biogennych szkieletów węglanowych, ponieważ może wpływać na jego właściwości mechaniczne oraz stabilność chemiczną. W wodzie morskiej stężenie Mg jest relatywnie wysokie (Stanley i Hardy 1998: Mg/Ca = 5,2), co warunkuje znaczną dostępność tego pierwiastka dla organizmów. W przypadku węglanów abiogenicznych (powstałych bez udziału organizmów żywych) depozycja konkretnego polimorfu CaCO<sub>3</sub> jest zdeterminowana szybkością wzrostu kryształów (Given i Wilkinson 1985). W wodach ciepłych szybsze tempo wzrostu kryształów stymuluje powstawanie aragonitu lub kalcytu o wysokiej zawartości Mg, podczas gdy w wodach chłodnych niższe tempo wzrostu kryształów prowadzi do depozycji kalcytu o niskiej zawartości Mg (Given i Wilkinson 1985). Zależność ta sugeruje, że pod względem fizykochemicznym w wodach polarnych faworyzowana jest produkcja kalcytu o niskiej zawartości Mg. Pomimo to w kalcycie biogenicznym (produkowanym przez organizmy żywe) obserwujemy szeroki zakres zawartości Mg nawet w przypadku fauny obszarów polarnych, co jest przypisywane regulacji biologicznej procesu kalcyfikacji (Long i in. 2014).

W arktycznej wodzie morskiej warunki biochemiczne są kształtowane między innymi poprzez naprzemienne występowanie dnia polarnego i nocy polarnej. Latem CO<sub>2</sub> jest zużywany w procesie fotosyntezy przeprowadzonym przez fitoplankton. Absorpcja CO<sub>2</sub> podnosi pH wody morskiej, a tym samym zwiększa nasycenie wody węglanami. Ponieważ większość tych procesów zachodzi w strefie eufotycznej, spodziewany jest gradient nasycenia wody węglanami powiązany z głębokością. Z kolei zimą, podczas nocy polarnej, kiedy produkcja pierwotna jest znacznie zredukowana, procesy oddychania zwiększają zawartość CO<sub>2</sub> w wodzie i tym samym obniżają jej pH, co w konsekwencji obniża nasycenie wody węglanami. W przeprowadzonym badaniu zanalizowano czy zmiany w chemizmie węglanów wody morskiej, wynikające z działalności organizmów autotroficznych pod wpływem światła, mogą wpływać na akumulację Mg w kalcytowym szkielecie arktycznych mszywiolów. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono różnic między letnią i zimową zawartością szkieletowego MgCO<sub>3</sub> u pięciu badanych gatunków mszywiolów, pomimo, że różnice w stanie nasycenia wody węglanami między tymi dwoma sezonami były statystycznie istotne. Ponadto nie wykryto żadnych różnic w zawartości MgCO<sub>3</sub> w szkielecie związanych z głębokością. Co ciekawe u wszystkich badanych gatunków stwierdzono kalcyt o wysokiej (>8 mol%) zawartości MgCO<sub>3</sub>. Produkcja szkieletu o wysokiej zawartości Mg w zimnych wodach Arktyki wymaga wsparcia ze strony dodatkowych mechanizmów wspomagających proces mineralizacji, np. zaangażowania pomp jonowych wykorzystywanych przez organizmy żywe w procesie kalcyfikacji (np. Zoccola i in. 2015). Ponadto specyficzny dla gatunku poziom MgCO<sub>3</sub> wydaje się potwierdzać fizjologiczną kontrolę nad procesem biomineralizacji u arktycznych mszywiolów. Brak obserwowanych różnic w akumulacji magnezu u mszywiolów w gradiencie głębokości oraz syntezowanych podczas dnia i nocy polarnej może być efektem ogólnie dobrych warunków jeśli chodzi o wysycenie wody morskiej kalcytem (Ω). W okresie kiedy prowadzono badania arktyczna woda morska – pomimo obserwowanych zmian klimatycznych – była nadal w wystarczającym stopniu nasycona węglanami (zwłaszcza kalcytem), nawet w sezonie zimowym charakteryzującym się wyższą zawartością CO<sub>2</sub>. Niemniej jednak, należy podkreślić że zarówno analizy zawartości węglanów w wodzie morskiej, jak i analizy MgCO<sub>3</sub> w szkieletach mszywiolów były prowadzone na relatywnie niedużych głębokościach (maks. 150 m). Jest bardzo prawdopodobne, że wyniki dla większych głębokości mogłyby przedstawiać mniej optymistyczne wartości. Należy również pamiętać, że w Arktyce wysycenie wody morskiej CO<sub>2</sub> jest coraz wyższe w związku z redukcją pokrywy lodowej. Spodziewane zmiany w stężeniu CO<sub>2</sub>, a co za tym idzie w wysyceniu wody morskiej węglanami, obejmują m. in. wypływanie strefy, gdzie biogeniczna kalcyfikacja jest wspierana

korzystnymi warunkami fizykochemicznymi ( $\Omega > 1$ ). W wodach głębszych obserwuje się wysokie stężenie  $\text{CO}_2$  i niedosycenie wody węglanami ( $\Omega < 1$ ), co prowadzi do rozpuszczania węglanów, w związku z tym synteza szkieletu w takich warunkach jest niezwykle kosztowna energetycznie. W ten sposób strefa występowania organizmów kalcyfikujących znacznie się stopniowo kurczy z powodu fizykochemicznych ograniczeń dla procesu kalcyfikacji. Problem ten w największym stopniu dotknie organizmy o szkieletach zbudowanych z kalcytu o wysokiej zawartości Mg, takie, jak badane w niniejszej pracy mszywioly.

### **Podsumowanie i wnioski**

Zaprezentowany powyżej cykl publikacji w sposób oryginalny i nowatorski wykorzystuje nowoczesne metody analiz pierwiastkowych i mineralogicznych do wyjaśniania problematyki badawczej z zakresu ekologii. Integracja zaawansowanych metod analityki chemicznej i klasycznych metod stosowanych w ekologii środowiskowej umożliwia wgląd w słabo poznany jak dotąd poziom zmienności chemizmu szkieletu bezkręgowców kalcyfikujących, a także pozwala na śledzenie odpowiedzi organizmów kalcyfikujących na zmieniające się warunki chemiczne w morzach Arktyki. Najważniejszym osiągnięciem przeprowadzonych przez mnie badań jest: 1. Udowodnienie, że bezkręgowce bentoniczne w Arktyce charakteryzują się unikalnym dla gatunku składem chemicznym szkieletu; 2. Ujawnienie dominującego wpływu czynników biologicznych na proces bioakumulacji metali w szkieletach bezkręgowców arktycznych, i wreszcie 3. Wskazanie grup systematycznych, u których najprawdopodobniej najszybciej ujawnią się negatywne konsekwencje zmian klimatycznych w Arktyce.

Jak dotąd, w przypadku większości taksonów, badania nad bioakumulacją metali koncentrowały się wyłącznie na tkankach miękkich, gdyż na tej podstawie wnioskowano o wprowadzaniu metali do sieci troficznych, natomiast dane na temat akumulacji szkieletowej są fragmentaryczne. Wcześniejsze badania na temat koncentracji metali w szkieletach bezkręgowców były prowadzone głównie w morzach strefy umiarkowanej, znajdujących się pod znaczną presją antropogeniczną i stąd często silnie zanieczyszczonych metalami. W związku z tym obserwowane wysokie stężenia niektórych pierwiastków w szkielecie były rozważane jako efekt ekspozycji na wysokie stężenia metali w środowisku. Moje badania były prowadzone w warunkach arktycznych, gdzie zanieczyszczenie antropogeniczne metalami jest znikome, a mimo to w szkieletach bezkręgowców obserwowałam relatywnie wysokie stężenia niektórych pierwiastków. Obserwacja ta dowodzi, że skład chemiczny szkieletu nie jest biernym odzwierciedleniem składu chemicznego otaczającego środowiska.

Najprawdopodobniej względnie stały i określony dla gatunku skład chemiczny i mineralny szkieletu jest zdeterminowany genetycznie i kształtowany przez selekcję naturalną. Uzyskane wyniki silnie sugerują, że organizm reguluje pobór i włączanie w sieć krystaliczną szkieletu pierwiastków w określonych stężeniach, ponieważ czerpie z tego korzyści adaptacyjne.

W związku z tym, że zmiany klimatyczne w Arktyce postępują w niezwykle szybkim tempie, kluczowym wydaje się ustalenie, na ile proces kalcyfikacji u bezkręgowców jest biernym odzwierciedleniem procesów biochemicznych mających miejsce w otaczającej wodzie morskiej, a na ile zwierzęta mogą regulować formowanie węglanowego szkieletu. Przedstawione badania dostarczyły dowodów na to, że wiele grup bezkręgowców rozwinęło w toku ewolucji szereg adaptacji pozwalających na skuteczną biomineralizację w warunkach obniżonego pH, obniżonej dostępności węglanów i zwiększonej dostępności metali w otaczającym środowisku morskim. Obejmują one między innymi: obecność odpowiednio grubej warstwy *periostracum* dostosowanej do konkretnej niszy ekologicznej (u małży), izolację wewnętrznego szkieletu dzięki obecności grubej warstwy skóry i tkanki łącznej (u rozgwiazd), ustalony skład chemiczny elementów szkieletowych w zależności od stopnia ich ekspozycji na otaczającą wodę morską (u jeżowców), koncentrację pierwiastków poprawiających parametry mechaniczne szkieletu jedynie w tych częściach, gdzie jest to kluczowe dla przetrwania (u pąkli i jeżowców) i przede wszystkim selektywny pobór pierwiastków ze środowiska pozwalający na tworzenie szkieletu o określonym składzie chemicznym (u większości gatunków kalcyfikujących bezkręgowców).

Niestety, powstawanie nowych adaptacji to proces długoterminowy, a obserwowane zmiany klimatyczne i związane z nimi zmiany w chemizmie wód morskich w Arktyce postępują coraz szybciej. Obniżające się pH, niedosycenie węglanami obserwowane na coraz płytszych głębokościach, a także rosnąca dostępność metali w środowisku może sprawić, że wkrótce produkcja aragonitowej muszli, lub kalcytowego szkieletu charakteryzującego się wysoką zawartością Mg okaże się niezwykle kosztowna energetycznie. W związku z tym, na podstawie uzyskanych wyników, syntetyzujące kalcyt o wysokiej zawartości Mg mszywiolę i szkarłupnie wydają się być grupami, które najwcześniej odczują konsekwencje spodziewanych zmian w chemizmie wody morskiej. Rosnące wydatki energetyczne związane z tworzeniem szkieletu spowodują albo ograniczenia innych procesów fizjologicznych (np. reprodukcji), albo doprowadzą do syntezy słabiej wysyconych węglanami szkieletów. Organizmy o słabszym szkielecie będą bardziej podatne na presję drapieżnictwa oraz konkurencji międzygatunkowej. W związku z tym niektóre gatunki, a nawet grupy gatunków, mogą zostać wyparte przez inne, lepiej dostosowane zwierzęta. Sytuacji z pewnością nie poprawi spodziewana ekspansja



gatunków borealnych, będąca wynikiem postępującego ocieplenia klimatu. Licznie występujące w morzach Arktyki bezkręgowce kalcyfikujące mają znaczący wpływ na obieg węgla, a także innych pierwiastków (np. azotu, wapnia, siarki, fosforu, a także mikroelementów) w ekosystemie. Wyeliminowanie lub radykalna redukcja liczebności niektórych gatunków może w konsekwencji prowadzić do destabilizacji sieci troficznych i gwałtownych przemian w ekosystemie Arktyki. W ten sposób wysoce skuteczne mechanizmy biomineralizacji, dzięki którym organizmy kalcyfikujące prosperowały w polarnych ekosystemach morskich przez miliony lat, zostaną wkrótce poddane ciężkiej próbie w obliczu konsekwencji zmian klimatycznych, które już teraz mają miejsce w Arktyce.

## Literatura

- Alyakrinskaya, I.O. 2005. Functional significance and weight properties of the shell in some mollusks. *Biology Bulletin* 32(4): 397-418.
- Andersson, A.J., Mackenzie, F.T., Bates, N.R. 2008. Life on the margin: implications of ocean acidification on Mg-calcite, high latitude and cold-water marine calcifiers. *Marine Ecology Progress Series* 373: 265-273.
- Carnevali, C., Wilkie, I.C., Lucca, E., Andrietti, F., Melone, G. 1993. The Aristotle's lantern of the sea-urchin *Stylocidaris affinis* (Echinoidea, Cidaridae): functional morphology of the musculo-skeletal system. *Zoomorphology* 113(3): 173-189.
- Carter, J.G., Barrera, E., Tevesz M.J. 1998. Thermal potentiation and mineralogical evolution in the Bivalvia (Mollusca). *Journal of Paleontology* 72(6): 991-1010.
- Cusack, M., Dauphin, Y., Cuif, J.P., Salomé, M., Freer, A., Yin, H. 2008. Micro-XANES mapping of sulphur and its association with magnesium and phosphorus in the shell of the brachiopod, *Terebratulina retusa*. *Chemical Geology* 253(3-4): 172-179.
- Dubois, P. 2014. The skeleton of postmetamorphic echinoderms in a changing world. *The Biological Bulletin* 226(3): 223-236.
- Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C. 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65: 414-432.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., Millero, F.J. 2004. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science* 305(5682): 362-366.
- Fenchel, T.M., Riedl, R.J. 1970. A new biotic community underneath oxidized layer of marine sand bottoms. *Marine Biology* 7: 255-268.
- Given, R.K., Wilkinson, B.H. 1985. Kinetic control of morphology, composition, and mineralogy of abiotic sedimentary carbonates. *Journal of Sedimentary Research* 55: 109-119.
- Gorzalak, P., Stolarski, J., Mazur, M., Meibom, A. 2013. Micro- to nanostructure and geochemistry of extant crinoidal echinoderm skeletons. *Geobiology* 11: 29-43.
- Harper, E.M. 1997. The molluscan periostracum: an important constraint in bivalve evolution. *Palaeontology* 40: 71-97.
- IPCC 2021. Summary for Policymakers, W: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (Red.), *Climate Change 2021: The Physical Science*

- Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Jackson, A.P., Vincent, J.F., Turner, R.M. 1988. The mechanical design of nacre. Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences 234(1277): 415-440.
- Kunitake, M.E., Baker, S.P., Estroff, L.A. 2012. The effect of magnesium substitution on the hardness of synthetic and biogenic calcite. MRS Communications 2: 113-116.
- Lacoue-Labarthe, T., Martin, S., Oberhänsli, F., Teyssié, J.L., Markich, S., Jeffree, R., Bustamante, P. 2009. Effects of increased  $p\text{CO}_2$  and temperature on trace element (Ag, Cd and Zn) bioaccumulation in the eggs of the common cuttlefish, *Sepia officinalis*. Biogeosciences 6(11): 2561-2573.
- Lacoue-Labarthe, T., Reveillac, E., Oberhänsli, F., Teyssié, J.L., Jeffree, R., Gattuso, J.P. 2011. Effects of ocean acidification on trace element accumulation in the early-life stages of squid *Loligo vulgaris*. Aquatic Toxicology 105(1): 166-176.
- Long, X., Ma, Y., Qi, L. 2014. Biogenic and synthetic high magnesium calcite – A review. Journal of Structural Biology 185: 1-14.
- Lowenstam, H.A., Weiner, S. 1989. On biomineralization. Oxford University Press, New York, 1-324.
- Ma, Y., Cohen, S.R., Addadi, L., Weiner, S. 2008. Sea Urchin Tooth Design: An “All-Calcite” Polycrystalline Reinforced Fiber Composite for Grinding Rocks. Advanced Materials 20: 1555-1559.
- Michaelidis, B., Ouzounis, C., Paleras, A., Pörtner, H.O. 2005. Effects of long-term moderate hypercapnia on acid-base balance and growth rate in marine mussels *Mytilus galloprovincialis*. Marine Ecology Progress Series 293: 109-118.
- Miles, H., Widdicombe, S., Spicer, J.I., Hall-Spencer, J. 2007. Effects of anthropogenic seawater acidification on acid-base balance in the sea urchin *Psammechinus miliaris*. Marine Pollution Bulletin 54(1): 89-96.
- Millero, F.J., Woosley, R., Ditrolio, B., Waters, J. 2009. Effect of ocean acidification on the speciation of metals in seawater. Oceanography 22(4): 72-85.
- Morrison, J.O., Brand, U. 1986. Paleoscene# 5. Geochemistry of recent marine invertebrates. Geoscience Canada 13(4): 237-254.
- Pascal, P-Y., Fleeger, J.W., Galvez, F., Carman, K.R. 2010. The toxicological interaction between ocean acidity and metals in coastal meiobenthic copepods. Marine Pollution Bulletin 60: 2201-2208.
- Raz, S., Weiner, S., Addadi, L. 2000. Formation of high-magnesian calcites via an amorphous precursor phase: possible biological implications. Advanced Materials 12: 38-42.
- Reeder, R.J. 1983. Crystal chemistry of the rhombohedral carbonates. W: Reeder, R.J. (Red.), Carbonates: Mineralogy and Chemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 11, 1-47.
- Schroeder, J.H., Dwornik, E.J., Papike, J.J. 1969. Primary protodolomite in echinoid skeleton. Geological Society of America Bulletin 80: 1613-1616.
- Stanley, S.M., Hardie, L.A. 1998. Secular oscillations in the carbonate mineralogy of reef-building and sediment-producing organisms driven by tectonically forced shifts in seawater chemistry. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 144: 3-19.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R.H. 1970. The oceans: their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1-1088.
- Taylor, J.D., Kennedy, W.J., Hall, A. 1969. The shell structure and mineralogy of the Bivalvia. Introduction. Nuculacea-Trigonacea. Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology 3: 1-125.
- Weiner, S., Addadi, L. 1997. Design strategies in mineralized biological materials. Journal of Materials Chemistry 7(5): 689-702.

Zoccola, D., Ganot, P., Bertucci, A., Caminiti-Segonds, N., Techer, N., Voolstra, C.R., Aranda, M., Tambutté, E., Allemand, D., Casey, J.R., Tambutté, S. 2015. Bicarbonate transporters in corals point towards a key step in the evolution of cnidarian calcification. *Scientific Reports* 5: 9983.

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

Kompletna lista moich osiągnięć naukowych została przedstawiona w załączniku „Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”.

Poniżej prezentuję przegląd mojej działalności naukowej.

W 1999 roku rozpoczęłam studia na Uniwersytecie Gdańskim (UG), na Wydziale Biologii, Geografii i Oceanologii (kierunek Biologia). Podczas studiów moje zainteresowania naukowe rozwijałam również w ramach Studenckiego Koła Hydrobiologii i Ochrony Wód przy Katedrze Genetyki UG. Po II roku studiów magisterskich zainteresowałam się hydrobiologią i ekologią wód regionów borealno-arktycznych, co zaowocowało organizacją dwóch wypraw badawczych obejmujących region fińskiej Laponii (sezony letnie 2002 i 2003). Dzięki wyprawom poznałam specyfikę pracy terenowej oraz zapoznałam się z metodologią poboru prób bezkręgowców słodkowodnych, jak i pomiarów parametrów fizyko-chemicznych środowiska wodnego. Zebrane podczas wypraw próby stanowiły podstawę dla mojej pracy magisterskiej. W badaniu uwzględniłam gatunki małżoraczków Ostracoda pochodzące z jeziora Inari oraz siedlisk słodkowodnych (źródeł, torfowisk, zbiorników okresowych i innych) położonych nieopodal jeziora. W związku z tym, że wybrany przez mnie obszar badawczy nigdy wcześniej nie był eksplorowany pod kątem fauny słodkowodnych Ostracoda, w swojej pracy magisterskiej skoncentrowałam się na rozpoznaniu faunistycznym. W roku 2003, będąc studentką III roku, po raz pierwszy prezentowałam wyniki swoich badań z terenu Laponii na konferencji ogólnopolskiej (X Ogólnopolskie Warsztaty Bentologiczne w Ciężeniu koło Poznania), a już rok później (2004) byłam współorganizatorem kolejnych Warsztatów Bentologicznych organizowanych w Jastrzębiej Górze. W 2004 roku obroniłam pracę magisterską pod tytułem: „Małżoraczki (Ostracoda) jeziora Inari i okolic (fińska Laponia)” pod kierunkiem prof. dr hab. Tadeusza Sywuli oraz pod opieką dr Tadeusza Namiotko. Wyniki

uzyskane w trakcie realizacji pracy magisterskiej zostały opublikowane w czasopiśmie *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* (Iglikowska i Namiotko 2010).

Po ukończeniu studiów magisterskich swoje działania naukowe kontynuowałam w ramach studium doktoranckiego w Instytucie Biologii UG. W 2004 roku, po tragicznej śmierci pierwszego promotora pracy (prof. Tadeusza Sywuli), pracę w ramach studium doktoranckiego kontynuowałam pod kierunkiem prof. dr hab. Lecha Stempniewicza. Opiekunem pracy doktorskiej był wówczas dr Tadeusz Namiotko, który po uzyskaniu stopnia doktora habilitowanego w roku 2008 został ostatecznym promotorem mojej pracy doktorskiej. W sezonie letnim 2004 i 2006 byłam współorganizatorem kolejnych dwóch wypraw badawczych na terenie północnej Laponii (norweskiej, szwedzkiej i fińskiej) finansowanych w ramach dwóch grantów UG (BW-1130-5-0004-4 i BW-1411-5-0337-6). W trakcie wypraw pobierałam również próby w południowej Norwegii na potrzeby projektu „From Sex to Asex: a case study on transitions and coexistence of sexual and asexual reproduction” (MRTN-CT 2004-512492).

W porównaniu do pracy magisterskiej, tematyka moich badań w ramach doktoratu rozszerzyła się o analizę wpływu czynników abiotycznych środowiska wodnego na różnorodność gatunkową lapońskich małżoraczków. W badaniu przeprowadziłam również porównanie fauny lapońskich Ostracoda z gatunkami pochodzącymi z Polski. W listopadzie 2010 roku obroniłam pracę doktorską pt.: „Wpływ czynników abiotycznych na występowanie i różnorodność małżoraczków (Ostracoda) w wybranych środowiskach wód śródlądowych Laponii i Polski”. W pracy doktorskiej analizowałam faunę Ostracoda Polski i północnej Laponii w trzech typach środowisk słodkowodnych: jeziorach, torfowiskach i zbiornikach okresowych. Najważniejszym wynikiem pracy było stwierdzenie zróżnicowanej i wyspecjalizowanej (stenobiontycznej) fauny małżoraczków na stanowiskach w Polsce oraz ujednoczonej gatunkowo (eurybiontycznej) fauny na stanowiskach lapońskich. Brak różnic w składzie gatunkowym małżoraczków trzech typów siedlisk słodkowodnych Laponii przypisałam okresowemu połączeniu zbiorników wodnych w trakcie wiosennych roztopów, a także ujednoczonym warunkom fizyko-chemicznym środowiska wodnego. Wyniki pracy doktorskiej zostały opublikowanych w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej (Iglikowska i Namiotko 2012a, b) oraz zaprezentowane na pięciu konferencjach ogólnopolskich.

Po obronie doktorskiej podjęłam pracę w Zakładzie Ekologii Morza (Instytut Oceanologii PAN w Sopocie) kierowanym przez prof. dr hab. Jana Marcina Węsławskiego w ramach projektu „ZSPDO: Zintegrowany System Przetwarzania Danych Oceanograficznych” (OPIG. 02.03.00-00-002/08). W projekcie ZSPDO pracowałam w zespole kierowanym przez dr hab. Katarzynę Błachowiak-Samołyk i zajmowałam się dygitalizowaniem, porządkowaniem

i analizowaniem oceanograficznych baz danych, będących efektem wieloletniej pracy badawczej pracowników Instytutu Oceanologii PAN (IOPAN). W styczniu 2011 roku prezentowałam swoją animację komputerową („The diversity of pelagic ostracods in the Central Eastern Atlantic Ocean”) na międzynarodowej konferencji World Conference on Marine Biodiversity w Aberdeen (Szkocja). W trakcie trwania projektu działałam również naukowo w zespole zajmującym się modelowaniem matematycznym środowisk morskich (Zakład Dynamiki Morza IOPAN). Aby rozszerzyć swoje umiejętności w zakresie modelowania matematycznego, wzięłam udział w cyklu trzech szkoleń dedykowanych modelowaniu procesów hydrodynamicznych i ekologicznych przy wykorzystaniu nowoczesnego i zaawansowanego technologicznie oprogramowania MIKE duńskiej grupy DHI ([www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)). Wykorzystując ogromne możliwości programu MIKE przygotowaliśmy wraz z grupą fizyków z Zakładu Dynamiki Morza PAN model zasolenia, temperatury, prądów, wiatrów i zlodzenia fiordu Hornsund (Svalbard) na potrzeby projektu „GAME – growing of the Arctic marine ecosystem” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (DEC-2012/04/A/NZ8/00661). Dodatkową aktywnością grupy było przygotowanie modelu hydrodynamicznego prądów i wiatrów w zatoce Weymouth (Kanał La Manche, Wielka Brytania) na potrzeby polskich olimpijczyków w konkurencji żeglarstwo, na Igrzyskach Olimpijskich w Londynie w 2012. Przygotowany przez nas model pomógł Przemysławowi Miarczyńskiemu i Zofii Noceti-Klepackiej w zdobyciu dwóch brązowych medali.

W 2012 roku uzyskałam finansowanie stażu zagranicznego w ramach programu *Synthesys* ([www.synthesys.info](http://www.synthesys.info)). Staż odbyłam w Natural History Museum (Darwin Centre) w Londynie, gdzie pod opieką prof. Geoffrey’a Boxshalla realizowałam projekt „To undertake basic taxonomic research on the polyphyletic halocyprid ostracod genus *Paraconchoecia*”. Owocem badań prowadzonych w NHM były dwie publikacje (Boxshall i Iglíkowska 2012, Iglíkowska i Boxshall 2013) oraz opis nowego dla nauki gatunku głębokowodnego małżoraczka (*Thaumatocyprida angeli* Iglíkowska & Boxshall, 2013) z rodziny Thaumatocyprididae. Seria typowa gatunku została zdeponowana w Natural History Museum w Londynie: holotyp – samica (NHMUK 2012.1520.), allotyp – samiec (NHMUK 2012.1521.). Oryginalny opis gatunku (wraz z rewizją systematyczną) został opublikowany w czasopiśmie *Zoologischer Anzeiger* (Iglíkowska i Boxshall 2013). W trakcie stażu odbyłam również szkolenie w zakresie mikroskopii skaningowej na modelu Zeiss Ultra Plus field emission SEM. Współpracę z Natural History Museum kontynuowałam później w ramach projektu polsko-norweskiego POLNOR.

Swoje umiejętności dotyczące przygotowania baz danych wykorzystałam w pracy dla dwóch znanych programów europejskich: LifeWatch ([www.lifewatch.eu](http://www.lifewatch.eu)) i EMODnet (European Marine Observation and Data Network – <https://emodnet.ec.europa.eu/en>). Na przełomie 2012 i 2013 przygotowałam bazę danych przywr wewnątrzniaków (Digenea) dla popularnej i ogólnodostępnej bazy World Register of Marine Species (WORMS) ([www.marinespecies.org/about.php](http://www.marinespecies.org/about.php)), będącej efektem działania programu LifeWatch. Natomiast w roku 2013 brałam udział w przygotowaniu globalnej bazy danych morfologii, rozmieszczenia geograficznego oraz biologii widłonogów pelagicznych (<https://copepodes.obs-banyuls.fr/en/index.php>) na zlecenie organizacji EMODnet. Dzięki działalności obu programów europejskich badacze z całego świata mają bezpłatny dostęp do ogromnych zasobów danych biologicznych i oceanograficznych, co stanowi podstawę dla licznych projektów badawczych i innych aktywności naukowych i popularyzatorskich.

W 2012 i 2013 roku moja działalność naukowa została uhonorowana dwiema nagrodami indywidualnymi dyrektora Instytutu Oceanologii PAN za pracę badawczą i publikacje naukowe. Ponadto w roku 2013 moimi badaniami nad fauną słodkowodnych małżoraczków zainteresowali się badacze z NIVA (Norwegian Institute for Water Research) w Oslo (Norwegia). W konsekwencji rozmów badacze dr Markus Lindholm i dr Anders Hobaek zaproponowali wizytę naukową na Wydziale Biologii UG, która odbyła się w maju 2013 roku. Na życzenie gości, wspólnie z prof. Tadeuszem Namiotko, poprowadziliśmy konsultacje w zakresie identyfikacji słodkowodnych Ostracoda. W roku kolejnym ukazała się moja publikacja przeglądowa (Iglikowska 2014) dotycząca kolonizacji środowiska słodkowodnego przez morskie Ostracoda. Krótko po opublikowaniu pracy zostałam poproszona o wygłoszenie wykładu na ten temat na Uniwersytecie w Oslo (23 maja 2014). Ponadto, podczas wizyty naukowej w Oslo zostałam ponownie poproszona aby wraz z prof. Tadeuszem Namiotko poprowadzić konsultacje w zakresie identyfikacji słodkowodnych Ostracoda w NIVA.

Rok 2014 przyniósł również początek nowego etapu w mojej działalności badawczej: pracę w Arktyce nad bioakumulacją metali w szkieletach bezkręgowców morskich. Rozpoczęłam pracę w projekcie kierowanym przez prof. dr hab. Piotra Kuklińskiego „POLNOR – The Changing Ocean of the Polar North” finansowanego przez granty polsko-norweskie oraz przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Pol-Nor/196260/81/2013). Projekt POLNOR był realizowany we współpracy z badaczami z norweskich ośrodków naukowych: NIVA (Norwegian Institute for Water Research) w Bergen i Akvaplan NIVA w Tromsø. Głównym celem badawczym projektu było oszacowanie, w jakim stopniu postępujące w Arktyce zmiany klimatyczne wpływają na zakwaszenie wód morskich i czy obserwowane

zmiany wpływają na proces kalcyfikacji u morskich bezkręgowców. W projekcie POLNOR pracowałam jako lider zespołu zajmującego się badaniem bioakumulacji metali w szkieletach bentonicznych bezkręgowców. Aby dobrze przygotować się do nowej roli odbyłam cykl szkoleń w Natural History Museum w Londynie. Dr Jens Najorka (pracownik Core Research Laboratories w NHM) wyszkolił mnie w zakresie analiz mineralogicznych metodą XRD (X-ray diffraction – dyfraktometria rentgenowska), natomiast dr Emma Humphreys-Williams (pracownik Imagine and Analysis Centre w NHM) przygotowała mnie do pracy w zakresie analiz pierwiastków śladowych technikami ICP AES (atomowa spektroskopia emisyjna z plazmą indukcyjnie sprzężoną) i ICP MS (spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie). Pod troskliwą opieką obojga badaczy wykonałam analizy chemiczne i mineralogiczne przewidziane w projekcie POLNOR. Ponadto, współpraca z dr Jensem Najorką i dr Emmą Humphreys-Williams zaowocowała licznymi publikacjami (niektóre wciąż w przygotowaniu lub w recenzji).

Praca w projekcie POLNOR umożliwiła mi również udział w mojej pierwszej wyprawie polarnej do Arktyki: w rejsie statkiem badawczym *Oceania* (IOPAN) wzdłuż fiordów zachodniego Spitsbergenu (lipiec i sierpień 2014). Podczas rejsu, wraz z zespołem, uczestniczyłam w poborze prób wymaganych w projekcie; za pomocą batometru pobierałam próbki wody morskiej do analiz węglanów, natomiast za pomocą drugi dennej pozyskiwałam bentoniczne bezkręgowce kalcyfikujące. Rok później (sierpień-wrzesień 2015) wzięłam udział w kolejnym rejsie, tym razem na statku pod banderą norweską (statek badawczy *Johan Hjort*, Institute of Marine Research w Bergen). Rejs statkiem norweskim umożliwił mi poznanie nowych technik poboru prób oraz pozyskanie prób szkarłupni z Morza Barentsa. Z kolei w roku 2019 (czerwiec-sierpień) wzięłam udział w kolejnym rejsie badawczym statku *Oceania* (IOPAN) na terenie Morza Norweskiego, Grenlandzkiego oraz Oceanu Arktycznego. W ramach wyprawy zrealizowałam zlecenie na pobór prób fito- i zooplanktonu oraz wody morskiej do badań genetycznych mikrobiomu na potrzeby projektu „HIDEA – ukryta różnorodność planktonu w Arktyce europejskiej” finansowanego przez NCN (2017/27/B/NZ8/01056), który był realizowany w Instytucie Oceanografii UG. We wszystkich rejsach byłam nie tylko członkiem ekipy naukowej, ale również uczestniczyłam w przygotowaniach do wypraw.

Po finalizacji kontraktu w ramach projektu POLNOR przez 2,5 roku nie byłam zatrudniona w żadnej placówce naukowej. Czas ten wykorzystałam na utworzenie i prowadzenie własnej firmy. W związku z tym, że biologia zawsze była nie tylko moim zawodem, ale również pasją, działalność firmy również musiała się wiązać z biologią. W

ramach działalności gospodarczej prowadziłam kursy i korepetycje z biologii dla maturzystów planujących studia na uczelni medycznej. W czasie przerwy w zatrudnieniu etatowym przegotowywałam również na zlecenie IOPAN publikacje podsumowujące wyniki projektu POLNOR (Iglikowska i in. 2018a, b).

Zachęcona sukcesami dydaktycznymi w ramach firmy, w październiku 2019 rozpoczęłam pracę na Wydziale Biologii UG, gdzie mogłam kontynuować działalność dydaktyczną. Będąc pracownikiem Wydziału Biologii UG w dalszym ciągu prowadziłam współpracę z zespołem badawczym z IOPAN, a efektem tej współpracy były artykuły opublikowane w czasopismach *Marine Pollution Bulletin* oraz *Marine Environmental Research* (Iglikowska i in. 2020a, b). W roku 2020 rozpoczęłam również współpracę z Morskim Instytutem Rybackim (MIR, Gdynia) w zakresie badań nad fauną bezkręgowców morskich (plankton i bentos) portów południowego Bałtyku (Witalis i in. 2021, kolejna publikacja w recenzji). W roku 2020 zostałam poproszona przez Nadbałtyckie Centrum Kultury o konsultację naukową w książeczce o tematyce ekologicznej dedykowanej najmłodszym czytelnikom. Książka „Baltek” autorstwa Anny Czerwińskiej-Rydel koncentruje się na problemach ekologicznych Morza Bałtyckiego i została przetłumaczona na wszystkie języki nadbałtyckie. Rok 2020 przyniósł jeszcze jeden sukces naukowy: opublikowane przeze mnie w 2020 roku artykuły stanowiły wkład w osiągnięcie publikacyjne zespołu badawczego Katedry Genetyki i Biosystematyki UG, które zostało uhonorowane nagrodą zespołową III stopnia Rektora UG za działalność naukową.

W roku 2021 uzyskałam finansowanie z NCN dla projektu „Testowanie bioakumulacji metali ciężkich u wodnych skorupiaków z gromady małżoraczków Ostracoda” w ramach konkursu MINIATURA 5 (DEC-2021/05/X/NZ8/00025). W projekcie mogłam połączyć wiedzę na temat słodkowodnych małżoraczków z pierwszego etapu mojej działalności naukowej, z doświadczeniem w zakresie bioakumulacji metali z okresu późniejszego. W ramach eksperymentu hodowlanego badałam wpływ Zn i Cu na cechy historii życiowej (przeżywalność, sukces i dynamika wylęgu, długość trwania cyklu rozwojowego, itd.) małżoraczka *Heterocypris incongruens* z populacji laboratoryjnych (komercyjny biotest Ostracodtookit f®) oraz z populacji naturalnych. W ramach projektu zanalizowałam również bioakumulację Zn i Cu w tkankach małżoraczków hodowanych w różnych stężeniach tychże pierwiastków.

W roku 2022 zaprezentowałam wyniki swoich badań na dwóch konferencjach międzynarodowych. Prezentacja przedstawiona na 19th International Bryozoology Meetings w Dublinie (Irlandia) dotyczyła zmienności mineralogicznej mszywiolów w gradiencie



równoleżnikowym od biegunów do równika. Natomiast na 55th European Marine Biology Symposium (EMBS) w Gdańsku prezentowałam swoje najnowsze wyniki na temat bioakumulacji metali w muszlach arktycznych małży. W roku 2022 zostałam również zaproszona do udziału w kolejnej wyprawie polarnej, tym razem w rejon Antarktydy. W ramach rejsu lodołamacza *Noosfera* (National Antarctic Scientific Center of Ukraine) zostałam poproszona o wykonanie poboru prób na terenie Oceanu Południowego i Wysp Szetlandzkich Południowych. Rejs odbędzie się na przełomie 2022 i 2023 roku (grudzień-marzec). Nowy rejs niesie za sobą nowe możliwości. Mam nadzieję, że wyprawa na Ocean Południowy będzie źródłem nie tylko nowych prób, doświadczeń terenowych i współpracy naukowej, ale również początkiem nowego etapu mojej działalności badawczej.

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

Po ukończeniu studiów magisterskich, będąc doktorantem II roku studium doktoranckiego, zaczęłam prowadzić zajęcia ze studentami. Były to głównie ćwiczenia laboratoryjne z *Genetyki* dla studentów II roku kierunku Biologia, a także *Pracownia Półdzienna* dla studentów przygotowujących prace magisterskie w Katedrze Genetyki, Instytutu Biologii UG. W późniejszym okresie, podczas pracy w projekcie POLNOR (IOPAN), byłam opiekunem praktyk naukowych dla studentów kierunku Oceanografia UG (Anna Sowa – styczeń-grudzień 2015, Edyta Głogowska – kwiecień-maj 2015). Ponadto, w roku 2015, byłam opiekunem rocznego stażu podyplomowego w zakresie prac laboratoryjnych związanych z analizą pierwiastków śladowych (praktykant: Maciej Chelchowski, absolwent Uniwersytetu Gdańskiego).

Wraz z rozpoczęciem pracy na Uniwersytecie Gdańskim pojawiły się liczne nowe obowiązki związane z działalnością dydaktyczną. Aby dobrze się przygotować do tego zadania wzięłam udział w szkoleniu „Rozwijanie umiejętności dydaktycznych” organizowanym przez Centrum Doskonalenia Dydaktycznego i Tutoringu UG. Od momentu zatrudnienia na Wydziale Biologii UG (październik 2019) byłam/jestem promotorem trzech prac licencjackich i czterech prac magisterskich. Zrecenzowałam również osiem prac magisterskich oraz dwie prace licencjackie studentów kierunków Wydziału Biologii i Wydziału Chemii UG oraz Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Począwszy od października 2021 roku jestem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr Kamila Regini, będącego studentem Trójmiejskiej Szkoły Doktorskiej Polskiej Akademii Nauk. Tytuł pracy doktorskiej to: „Ocena

wpływu warunków środowiskowych na ekologię oraz geochemię glonów wapiennych (Corallinales, Rhodophyta) zachodniego Spitsbergenu (Arktyka)”, natomiast głównym promotorem doktoratu jest prof. Piotr Kukliński (IOPAN).

Na Wydziale Biologii UG prowadzę liczne wykłady i ćwiczenia ze studentami. Od października 2019 prowadziłam bądź aktualnie prowadzę 13 przedmiotów o zróżnicowanej tematyce – wśród nich ćwiczenia z *Genetyki*, związany z moją specjalnością naukową wykład *Podstawy Ekotoksykologii*, jak również zajęcia przygotowujące młodzież do pisania tekstów naukowych (*Zasady Pisania i Prezentowania Przyrodniczych Prac Naukowych*). Opracowałam również dwa autorskie przedmioty związane z tematyką ekologiczną mórz: *Podstawy Ekologii Morza* i *Środowisko Morza Bałtyckiego*, które już teraz są realizowane na III roku studiów licencjackich dla studentów kierunków Biologia i OZP (Ochrona Zasobów Przyrodniczych).

Byłam również zaangażowana w działania popularyzujące naukę. W czasie izolacji z powodu epidemii COVID-19 przygotowałam wykład online dla młodzieży licealnej klas naturalnych pt.: „CO<sub>2</sub>, efekt cieplarniany i zakwaszenie oceanu”. Swoją zabawną animację komputerową „Co bakterie robią w morzu?” prezentowałam w ramach „Nocy Biologów” organizowanej w styczniu 2021 roku na Wydziale Biologii UG. W lutym 2021 wzięłam udział w wydarzeniu popularyzującym naukę „Spotkanie z ekspertami: czy będzie z nami Bałtyk?” organizowanym przez Nadbałtyckie Centrum Kultury dla uczniów i nauczycieli XIX LO w Gdańsku. Na spotkaniu, jako jeden z ekspertów, rozmawiałam z młodzieżą o aktualnych problemach ekologicznych Morza Bałtyckiego oraz odpowiadałam na ich liczne pytania.

Tematy promowanych prac licencjackich:

- „Wpływ postępującego ocieplenia klimatu na bioróżnorodność bezkręgowców morskich w Arktyce” – studentka kierunku Biologia UG Dominika Gruba, obrona pracy licencjackiej: 16 lipca 2021
- „Wpływ wybranych farmaceutyków na ekosystemy wodne” – studentka kierunku Biologia UG Julia Marczyńska, obrona pracy licencjackiej: 16 lipca 2021
- „Bioakumulacja rtęci w szkieletach szkarłupni z Morza Barentsa” – studentka kierunku Genetyka i Biologia Eksperymentalna UG, planowana data obrony pracy licencjackiej: lipiec 2023

Tematy promowanych prac magisterskich:

- „Zróżnicowanie wielkości ciała małżoraczków (Ostracoda) w słodkowodnych zgrupowaniach na tle zmienności podstawowych czynników klimatycznych” – student MSU (Magisterskie Studia Uzupełniające, Wydział Biologii UG) Jakub Krzyżewski, obrona pracy magisterskiej: 8 lipca 2022
- Aktualnie realizowana praca eksperymentalna dotycząca wpływu zróżnicowanych stężeń Zn i Cu na przeżywalność dorosłych samic małżoraczków *Heterocypris incongruens* pochodzących z populacji naturalnych i laboratoryjnych – studentka MSU (Wydział Biologii UG) Anna Michalak, planowana data obrony pracy magisterskiej: lipiec 2023
- Aktualnie realizowana praca eksperymentalna dotycząca wpływu zróżnicowanych stężeń Zn i Cu na dynamikę i sukces wylęgu u małżoraczków *Heterocypris incongruens* pochodzących z populacji laboratoryjnej – studentka MSU (Wydział Biologii UG) Klaudia Bartosik, planowana data obrony pracy magisterskiej: lipiec 2023
- Aktualnie realizowana praca eksperymentalna dotycząca wpływu zróżnicowanych stężeń Zn na przebieg składania jaj i wylęgu oraz na liczebność larw w populacji laboratoryjnej małżoraczka *Heterocypris incongruens* – studentka MSU (Wydział Biologii UG) Dominika Gruba, planowana data obrony pracy magisterskiej: lipiec 2023

Przedmioty prowadzone na Wydziale Biologii UG w latach 2019-2022:

- *Ekologia Molekularna* – wykład dla kierunku Ochrona Zasobów Przyrodniczych (OZP)
- *Ewolucyjne Podstawy Bioróżnorodności* – ćwiczenia audytoryjne dla kierunku OZP
- *Genetyka* – ćwiczenia laboratoryjne dla kierunku Biologia
- *Genetyka Ogólna z Elementami Genetyki Konserwatorskiej* – ćwiczenia laboratoryjne dla kierunku OZP
- *Podstawy Ekologii Morza* – przedmiot do wyboru dla kierunków Biologia i OZP
- *Podstawy Ekotoksykologii* – wykład dla kierunku OZP
- *Podstawy Genetyki* – ćwiczenia laboratoryjne dla kierunków Biologia Medyczna oraz Genetyka i Biologia Eksperymentalna (GIBE)
- *Podstawy Genetyki Populacyjnej i Konserwatorskiej* – ćwiczenia audytoryjne dla kierunku GIBE
- *Pracownia Dyplomowa* – na kierunkach Biologia i GIBE
- *Pracownia Specjalnościowa* – na kierunku Biologia
- *Środowisko Morza Bałtyckiego* – przedmiot do wyboru dla kierunków Biologia i OZP
- *Technologie Informacyjne* – ćwiczenia dla kierunku Biologia Medyczna

- *Zasady Pisania i Prezentowania Przyrodniczych Prac Naukowych* – wykład i ćwiczenia warsztatowe dla kierunku GIBE

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



.....  
(podpis wnioskodawcy)