

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Joanna Stoń-Egiert

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

Magister, Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Geografii i Oceanologii, 1997, tytuł pracy magisterskiej: „*Bilans radiacyjny Południowego Bałtyku*”, promotor: doc. dr hab. Bogdan Woźniak

Doktor nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, 2008, tytuł rozprawy doktorskiej „*Główne środowiskowe uwarunkowania składu i zasobów pigmentów fitoplanktonu w akwenach bałtyckich*”, promotor: doc. dr hab. Alicja Kosakowska

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

1998 - 2008 pracownik Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, na etacie technicznym na stanowisku oceanograf w Zakładzie Fizyki Morza

2008 - 2017 pracownik Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, na stanowisku adiunkt w Zakładzie Fizyki Morza

2017 - 2019 pracownik Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, na stanowisku specjalista ds. spraw środowiskowej aparatury badawczej w Zakładzie Fizyki Morza

2019 – obecnie pracownik Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, na stanowisku adiunkt w Zakładzie Fizyki Morza

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:

„Pigmenty fitoplanktonu jako wskaźniki zmian środowiska Morza Bałtyckiego”

Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

O1. Stoń-Egiert J., Łotocka M., Ostrowska M., Kosakowska A., 2010, *The influence of biotic factors on phytoplankton pigment composition and resources in Baltic ecosystems: new analytical results*, Oceanologia, 52(1), 101-125, doi:10.5697/oc.52-1.101

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: opracowanie koncepcji pracy i planu badań, udział w poborze próbek do pomiarów laboratoryjnych w czasie rejsów badawczych na r/v ‘Oceania’, przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych stężeń barwników fitoplanktonu metodą HPLC, wykonanie syntezy wyników, przeprowadzenie analiz, udział w interpretacji wyników, przygotowanie rycin i tabel, przegląd i dobór literatury, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami

O2. Stoń-Egiert J., Majchrowski R., Darecki M., Kosakowska A., Ostrowska M., 2012, *Influence of underwater light fields on pigment characteristics in the Baltic Sea – results of statistical analysis*, Oceanologia, 54(1), 7 – 27, doi:10.5697/oc.54-1.007

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: opracowanie koncepcji pracy i planu badań, udział w poborze próbek do pomiarów laboratoryjnych w czasie rejsów badawczych na r/v ‘Oceania’, przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych stężeń barwników fitoplanktonu metodą HPLC, wykonanie syntezy wyników, przeprowadzenie analiz, udział w interpretacji wyników, przeprowadzenie analiz statystycznych, przygotowanie rycin i tabel, przegląd i dobór literatury, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami

O3. Sobiechowska-Sasim M., **Stoń-Egiert J.**, Kosakowska A., 2014, *Quantitative analysis of extracted phycobilin pigments in cyanobacteria—an assessment of spectrophotometric and spectrofluorometric methods*, Journal of Applied Phycology, 26, 2065-2074, doi: 10.1007/s10811-014-0244-3

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: współudział w opracowaniu koncepcji pracy, współudział w przeprowadzanych analizach laboratoryjnych i pomiarach spektrofotometrycznych i spektrofluorometrycznych, udział w analizach i interpretacji wyników, udział w przeprowadzeniu analiz statystycznych, przygotowanie części rycin i tabel, udział w przygotowaniu manuskryptu publikacji

O4. Wojtasiewicz B., **Stoń-Egiert J.**, 2016, *Bio-optical characterization of selected cyanobacteria strains present in marine and freshwater ecosystems*, Journal of Applied Phycology, 28, 4, 2299–2314, doi 10.1007/s10811-015-0774-3

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: współudział w opracowaniu koncepcji pracy, udział w poborze próbek do pomiarów laboratoryjnych, przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych stężeń chlorofili, karotenoidów metodą HPLC oraz fikobiliprotein metodą

spektrofluorometryczną, przeprowadzenie pomiarów wielkości komórek cyjanobakterii w hodowlach metodą konduktometryczną, przeprowadzenie analiz, udział w interpretacji wyników, udział w przeprowadzeniu analiz statystycznych, udział w przygotowaniu manuskryptu publikacji

O5. Stoń-Egiert J., Majchrowski R., Ostrowska M., 2019, *Distributions of photosynthetic and photoprotecting pigment concentrations in the water column in the Baltic Sea: an improved mathematical description*, *Oceanologia*, 61(1), 1-16, doi:10.1016/j.oceano.2018.08.004007

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: opracowaniu koncepcji pracy i planu badań, udział w poborze próbek do pomiarów laboratoryjnych w czasie rejsów badawczych na r/v 'Oceania', przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych stężeń barwników fitoplanktonu metodą HPLC, wykonanie syntezy wyników, przeprowadzenie analiz, udział w interpretacji wyników, udział w przeprowadzeniu analiz statystycznych, przygotowanie części rycin i tabel, przegląd i dobór literatury, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorami

O6. Stoń-Egiert J., Ostrowska M., 2022, *Long-term changes in phytoplankton pigment contents in the Baltic Sea: Trends and spatial variability during 20 years of investigations*, *Continental Shelf Research*, 2022, 236, 104666, doi:10.1016/j.csr.2022.104666

Mój wkład w powstawanie pracy obejmował: opracowanie koncepcji pracy i planu badań, udział w poborze próbek do pomiarów laboratoryjnych w czasie rejsów badawczych na r/v 'Oceania', przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych stężeń barwników fitoplanktonu metodą HPLC, wykonanie kompilacji wyników i stworzenie wieloletniej bazy danych, przeprowadzenie analiz, udział w interpretacji wyników, przygotowanie rycin i tabel, przegląd i dobór literatury, przygotowanie i edytowanie manuskryptu publikacji, konsultacje ze współautorką

Dane naukometryczne:

Numer publikacji	Czasopismo	Rok	IF 2022/IF*	IF Web of Science /Scopus	Liczba punktów MNiSW**
O1	Oceanologia	2010	2.9/1	2.427/2.48	100
O2	Oceanologia	2012	2.9/1.2	2.427/2.48	100
O3	Journal of Applied Phycology	2014	3.215/2.730	3.215/3.246	70
O4	Journal of Applied Phycology	2016	3.215/2.553	3.215/3.246	70
O5	Oceanologia	2019	2.9/2.184	2.427/2.48	100
O6	Continental Shelf Research	2022	2.391/2.63	2.391/2.63	100

*IF z 2022/*IF z roku publikacji /

** według załącznika do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 17 lipca 2023r.

Wprowadzenie

Pigmenty występujące w środowisku naturalnym stanowią dużą grupę związków zróżnicowanych pod względem struktury chemicznej oraz właściwości, a historia badań nad nimi sięga początków XIX wieku. Są szeroko rozpowszechnione w naturze. Zostały zidentyfikowane między innymi w komórkach roślin wyższych, glonów, grzybów, bakterii i zwierząt. Biorąc pod uwagę budowę cząsteczek barwników roślinnych można je podzielić na 3 główne grupy: chlorofile, których dotychczas zidentyfikowano ponad 50 (Scheer 1991), karotenoidy – znanych jest ponad 750 (Britton i in. 2003), z czego ponad 100 wyizolowano z organizmów morskich (Liaaen-Jensen 1978) oraz fikobiliproteiny, których około 40 różnych typów zidentyfikowano w komórkach nielicznych klas glonów: kryptofitów, glonów czerwonych i cyjanobakterii (Toole i Allnutt 2003). Pigmenty są jedynymi komponentami komórek organizmów autotroficznych posiadającymi zdolność absorpcji promieniowania słonecznego z zakresu spektralnego 380-700 nm i jego dalszej utylizacji w procesie fotosyntezy, przy czym, każda z tych grup barwników absorbuje promieniowanie w charakterystycznych dla siebie przedziałach widma (Woźniak i Dera 2007). Chlorofile absorbują promieniowanie głównie w przedziałach 400-500 nm i 660-680 nm, maksimum absorpcji karotenoidów znajduje się w przedziale 400-500 nm, natomiast w przypadku fikobilin jest to 500-650 nm.

Zarówno kompozycja jak i stężenie pigmentów w środowisku morskim są wypadkową zarówno czynników biotycznych, jak i abiotycznych. Przede wszystkim są ściśle zależne od grupy fitoplanktonu, do której dane organizmy są zaliczane. W zależności od przynależności taksonomicznej różne karotenoidy wyraźnie dominują ilościowo nad pozostałymi. Stanowią one często ponad 10% sumarycznej zawartości barwników w komórkach i są powszechnie stosowanymi wskaźnikami obecności danej grupy glonów w środowisku (Roy i in. 2011). Należą do nich na przykład fukoksantyna, uważana za wskaźnik obecności okrzemek, zeaksantyna - będąca (obok fikocyjaniny i fikoerytryny) karotenoidowym markerem cyjanobakterii, alloksantyna – wskaźnik kryptofitów, prazinoksantyna – prazynofitów, perydynina – bruzdnic, czy neoksantyna i luteina, które uważane są za wskaźniki zielenic. Charakterystyczna kompozycja barwników w komórkach różnych klas glonów jest uważana za unikalną cechę taksonomiczną, tym niemniej ich jakościowe i ilościowe proporcje mogą różnić się pomiędzy organizmami należącymi do tej samej klasy. Dodatkowo, fizjologiczne preferencje organizmów fitoplanktonu i ich biologiczne adaptacje wynikające np. z dobowych migracji w kolumnie wody, czy sezonowych warunków sprzyjających rozwojowi i wzrostowi komórek – mogą modyfikować zawartość barwników w komórkach glonów.

Czynniki abiotyczne, jak na przykład warunki oświetleniowe, dostępność substancji odżywczych, czy warunki hydrologiczne panujące w morzu (temperatura, gradient zasolenia, stratyfikacja gęstościowa wód), czy dynamika mas wodnych, mogą również modyfikować zawartość pigmentów w komórkach i ich wzajemne proporcje (Falkowski i LaRoche 1991, Berner i in. 1989). Natężenie i skład spektralny oświetlenia w toni wodnej wpływa na wewnątrzkomórkową zawartość pigmentów wywołując w organizmach autotroficznych procesy fotoadaptacyjne mające na celu najefektywniejsze wykorzystanie energii słonecznej w procesie fotosyntezy oraz ochronę aparatu fotosyntetycznego przed fotodestrukcją (Babin i in. 1996, Woźniak i in. 2003, Woźniak i Dera 2007, Dera i Woźniak 2010). Wspomniane

adaptacje mogą zachodzić na skutek (1) konieczności dostosowania wypadkowych właściwości absorpcyjnych komórek glonów do wąskiego widma promieniowania dostępnego na różnych głębokościach w morzu, lub (2) ochrony cząsteczek chlorofilu a przed fotoutlenianiem na skutek ekspozycji na promieniowanie z zakresu światła niebieskiego (400-480 nm) o zbyt wysokiej intensywności, występującego najczęściej w powierzchniowej warstwie wody. W pierwszym przypadku komórki glonów syntetyzują dodatkowe pigmenty o odpowiednich właściwościach absorpcyjnych, tzw. pigmenty antenowe, co umożliwia absorpcję promieniowania o odpowiedniej długości fali i transfer tej energii do centrum reakcji fotosyntezy. Proces ten nosi nazwę chromatoadaptacji. W drugim przypadku mamy do czynienia z procesem adaptacji natężeniowej, zwanej również fotoadaptacją, związanym z wytwarzaniem przez komórki glonów większej ilości tzw. pigmentów ochronnych. W obu przypadkach modyfikacji ulega nie tylko stężenie pigmentów w komórkach, ale także ich względna zawartość (w odniesieniu do stężenia chlorofilu a), determinująca pionowe rozkłady względnej zawartości fotosyntetycznych i fotoochronnych grup pigmentów w zbiorniku wodnym. Oba procesy charakteryzują się dużą dynamiką i zachodzą niezależnie od fazy wzrostu w jakiej znajdują się komórki fitoplanktonu (Henriksen i in. 2002, Staehr i in. 2002).

Wpływ parametrów środowiskowych na zawartość głównych grup barwników jest szeroko dyskutowany w literaturze, przy czym większość prac opisuje procesy aklimatyzacyjne w komórkach glonów w oparciu o dane pochodzące z eksperymentów przeprowadzanych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych (Henriksen i in. 2002, Staehr i in. 2002) lub w wodach oceanicznych (water case 1- WC1; Dera i Woźniak 2010, Majchrowski 2001, Sukenik i in. 1990, Woźniak i in. 2003, Woźniak i Dera 2007). Stosunkowo niewiele prac poświęconych jest procesom fotoaklimatyzacji glonów w wodach typu WC2 o bardzo zróżnicowanych i znacząco odmiennych niż w oceanach właściwościach optycznych. Pola światła w tych wodach, których dobrym przykładem jest Morze Bałtyckie, kształtowane są nie tylko przez obecność fitoplanktonu, ale także przez wysokie stężenia innych znaczących optycznie allogenicznych cząstek zawieszonych i chromoforowych substancji rozpuszczonych CDOM (Harvey i in. 2015, Kowalczyk i in. 2005, Simis i in. 2017). Wpływ allogenicznych składników wody morskiej na warunki oświetleniowe w oceanach jest pomijalnie mały podczas gdy np. w Bałtyku powodują one nie tylko zmniejszenie głębokości penetracji światła w toni lecz również zmianę składu spektralnego oświetlenia. Obecność tych składników powoduje, że w wodach typu WC2 najgłębiej dociera światło o $\lambda=550$ nm, podczas gdy w oceanach długość ta wynosi $\lambda=450$ nm (Dera 1995, Prieur i Sathyendranath 1981).

Występowanie pigmentów, a także ich zróżnicowanie jakościowe i ilościowe wynikające z interakcji wielu czynników środowiskowych sprawia, że są one dobrym **wskaźnikiem przemian zachodzących w środowisku morskim**. Wykorzystanie taksonomicznie istotnych chlorofili i karotenoidów w bezpośredniej identyfikacji klas fitoplanktonu, ich biomasy, bioróżnorodności, kondycji i stadium rozwoju wzrosło w ostatnich latach dzięki postępowi w rozwoju technik chromatograficznych, zwłaszcza wysokosprawnej chromatografii ciekowej - HPLC (Wright i van der Enden 2000; Schlüter i in. 2016). Dzięki coraz powszechniejszemu zastosowaniu technik HPLC do badań oceanograficznych oraz rozwojowi programów umożliwiających zidentyfikowanie obecności grup fitoplanktonu

w badanej fitocenozie na podstawie znajomości składu barwników, np. CHEMTAX (Goela i in. 2014, Miranda-Alvarez i in. 2020) monitorowanie składu gatunkowego fitoplanktonu stało się możliwe na większą skalę niż pozwalały na to analizy mikroskopowe wybranych próbek.

Wraz ze zmianami klimatycznymi na Ziemi obserwujemy wyraźne zmiany warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w Oceanie Światowym. W szczególności zmiany właściwości termicznych wód morskich i oceanicznych, zawartości rozpuszczonego CO₂ w wodach (zakwaszenie) udokumentowane w ostatnim 40-leciu (Brierley i Kingsford 2009, Werneberg i in. 2011, IPCC 2013, Rousseux i Gregg 2015, Tate i in. 2017, Martin-Garcia 2019) stwarzają w efekcie warunki do rozwoju innych niż charakterystyczne dla danego obszaru organizmów fitoplanktonowych. Na przestrzeni wielolecia obserwuje się zarówno w skali regionalnej, jak i globalnej zmiany w bioróżnorodności wód morskich i oceanicznych, związane głównie ze zmianą struktury gatunkowej fitoplanktonu wywołaną ekspansją gatunków w kierunku warunków sprzyjających ich rozwojowi (Beaugrand 2004, Richardson i Schoeman 2004, Bode i in. 2015). Ocena zmian zachodzących w ekosystemach jest często przeprowadzana na podstawie zmian głównego barwnika glonów – chlorofilu a, wykorzystywanego jako wskaźnik biomasy fitoplanktonu oraz potencjalnej produktywności akwenu. Badania ukazujące zmienność stężenia chlorofilu a w okresie ponad 100 lat w różnych rejonach oceanu światowego wskazują na wyraźnie różne trendy zmian w zależności od analizowanego obszaru (Boyce i in. 2014). Z kolei analiza długoterminowych zmian stężeń pozostałych pigmentów prowadzi do lepszego zrozumienia transformacji fitoplanktonu w badanych zbiornikach wodnych (Llewellyn i Mantoura 1996).

Globalne analizy zmienności czasowej i przestrzennej stężeń barwników, składu gatunkowego i biomasy fitoplanktonu nie uwzględniają specyfiki mórz szelfowych i półzamkniętych, jakim jest Morze Bałtyckie. W Bałtyku, zarówno warunki hydrologiczne jak i struktura biologiczna różnią się od oceanicznych. W związku z ograniczoną wymianą wód z Morzem Północnym oraz napływem rzecznych mas wodnych zasolenie wód Morza Bałtyckiego oscyluje w okolicy 7 w centralnej części i ok. 4 w rejonach przyujściowych. Śródlądowe położenie tego morza powoduje stały dopływ dużych ilości substancji odżywczych (HELCOM 2009, 2018a, b, Savchuk 2018). Zmienność biomasy i składu gatunkowego fitoplanktonu w czasie i przestrzeni kształtowana jest przez szereg procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych i charakteryzuje się występowaniem okresowych zakwitów oraz sukcesją sezonową. Rozwój biomasy organizmów w Morzu Bałtyckim należących głównie do klas cyjanobakterii, okrzemek, bruzdnic, kryptofitów i zielenic, cechuje się występowaniem 3 wyraźnych maksimów w cyklu rocznym. Wzrost temperatury w górnych warstwach morza, duża ilość składników odżywczych zakumulowanych podczas zimy i wyniesionych w procesach mieszania na powierzchnię oraz wzrost dopływu energii słonecznej powoduje wiosenny zakwit okrzemek przechodzący następnie w zakwit bruzdnic. Kolejny wzrost biomasy jest związany z letnim (lipiec/sierpień) zakwitaniem cyjanobakterii. Trzeci, jesienny zakwit okrzemek, występuje od września do października w zależności od rejonu. Przy zmniejszonym dopływie energii świetlnej w tym sezonie, jest on głównie wywoływany dopływem składników odżywczych z głębszych warstw morza (Gasiūnaitė i in. 2005, Hjerne i in. 2019).

W obliczu długoterminowych zmian zachodzących w ekosystemach wodnych wywołanych zmianami klimatycznymi wynikającymi z globalnego ocieplenia oraz wzmożonej presji antropogenicznej przyczyniającej się, poprzez dopływ substancji biogenicznych, do zwiększenia eutrofizacji Bałtyku pojawia się pytanie w jaki sposób ekosystem Morza Bałtyckiego reaguje na zmieniające się warunki środowiskowe. Do analiz tego zjawiska postanowiłam wykorzystać dane dotyczące ilościowych i jakościowych charakterystyk pigmentów fitoplanktonu, traktując je jako narzędzie do oceny stanu środowiska Morza Bałtyckiego i jego ekosystemów oraz zachodzących w nich zmian. **Głównym celem moich badań było zatem opracowanie metod śledzenia zmian w środowisku Morza Bałtyckiego na podstawie analizy składu i zasobów pigmentów fitoplanktonu.**

Realizacja celu głównego wymagała realizacji kolejnych zadań badawczych:

1. skonstruowanie odpowiedniej do planowanych analiz bazy danych obejmującej wieloletnie pomiary stężeń barwników uzyskanych metodą HPLC oraz biotycznych i abiotycznych charakterystyk środowiska morskiego – udokumentowane w pracach O1-O6
2. ustalenie matematycznych wyrażeń i statystycznych zależności pozwalających na określenie występowania grup glonów w fitocenozach bałtyckich oraz ich całkowitej biomasy na podstawie zawartości barwników wskaźnikowych – zrealizowane w ramach pracy O1
3. opracowanie formuł matematycznych opisujących wpływ wybranych czynników abiotycznych na stężenie barwników w kolumnie wody w Morzu Bałtyckim - zrealizowane w ramach prac O2 i O5
4. opracowanie metodyki izolacji i oznaczeń fikobilin w fitoplanktonie bałtyckim i wprowadzenie jej do rutynowych pomiarów jako wskaźników sinic tworzących potencjalnie toksyczne zakwity w Morzu Bałtyckim – zrealizowane w ramach prac O3, O4
5. określenie i przeanalizowanie trendów zmian środowiska Morza Bałtyckiego - zrealizowane w ramach pracy O6

Powyższe cele cząstkowe były sukcesywnie realizowane, a otrzymane rezultaty zostały przedstawione w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.

Zakres badań i uzyskane wyniki

O1. Stoń-Egiert J., Łotocka M., Ostrowska M., Kosakowska A., 2010, *The influence of biotic factors on phytoplankton pigment composition and resources in Baltic ecosystems: new analytical results*, Oceanologia, 52(1), 101-125, doi:10.5697/oc.52-1.101

W pierwszym etapie realizacji zamierzeń postawiłam sobie za zadanie zbadanie możliwości określenia składu fitocenz bałtyckich na podstawie charakterystyk ilościowych i jakościowych zidentyfikowanych barwników.

W tym celu wykorzystywałam materiał eksperymentalny, który zgromadziłam w latach 1999-2005 w czasie 12 rejsów statkiem badawczym r/v Oceania w różnych sezonach i w różnych rejonach Morza Bałtyckiego. Skompletowałam 57 zestawów danych zawierających stężenia barwników fitoplanktonu wyznaczone dzięki zastosowaniu techniki HPLC, którą zaadaptowałam i wprowadziłam do badań próbek fitoplanktonu bałtyckiego (Stoń i Kosakowska 2002, Stoń-Egiert i Kosakowska 2005) oraz skład gatunkowy i biomasę fitoplanktonu wyznaczoną na podstawie oznaczeń mikroskopowych pobranych próbek przy wykorzystaniu techniki sedymentacyjnej Utermöhl'a (Willen 1962, HELCOM 1997). Zidentyfikowałam i ilościowo scharakteryzowałam w ujęciu sezonowym oraz przestrzennym grupę 25 barwników należących do chlorofili (chlorofil a, chlorofylid a, diwinyl chlorofil a, feofityna a, chlorofil b, chlorofil c1+c2, chlorofil c3) i karotenoidów (perydynina, fukoksantyna, α -karoten, 19'hex-fukoksantyna, prasinoksantyna, kantaksantyna, echinenon, 19'but-fukoksantyna, diadinoksantyna, alloksantyna, zeaksantyna, luteina, neoksantyna, wiolaksantyna, β -karoten, diatoksantyna, myksoksantofil, anteraksantyna) oraz organizmy fitoplanktonu należące do klas sinic, okrzemek, bruzdnic, kryptofitów, zielenic, prazynofitów, złotowiciowców, euglenin oraz do grupy niezidentyfikowanego nanoplanktonu (o zakresie wielkości komórek 3-15 μm).

Przeanalizowałam jakościowe i ilościowe zmiany stężeń barwników i zidentyfikowanych klas glonów będące efektem interakcji wielu czynników środowiskowych (warunków hydrologicznych, oświetleniowych, ilości dostępnej materii biogenicznej, dopływu mas wody rzecznej), mających wpływ na tworzenie warunków wzrostu i rozwoju komórek glonów. Analiza składu jakościowego i ilościowego barwników okazała się odpowiednim narzędziem do oceny rozmieszczenia przestrzennego różnych grup taksonomicznych i ich wzajemnych proporcji, również w kontekście sezonowym. Stężenie zidentyfikowanych pigmentów było około 2-3 razy wyższe w rejonie zatok w porównaniu z obszarami wód otwartych. W rejonie zatok była również wyższa biomasa fitoplanktonu. Przestrzenne rozmieszczenie grup glonów charakteryzowało się strukturą mozaikową; stacje zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie geograficznym charakteryzowały się odmiennym składem gatunkowym. W okresie wiosennym zawartość okrzemek stanowiła około 50% całkowitej biomasy fitoplanktonu w rejonach ujść rzek, a w miarę wzrostu odległości od ujścia następowała zmiana struktury zbiorowisk fitoplanktonu. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdziłam znaczny wzrost udziału bruzdnic w biomacie fitoplanktonu (od 10% przy ujściu rzeki do 40% w dalszych rejonach zatoki).

Na podstawie analiz sezonowych zmian stężeń zidentyfikowanych barwników potwierdziłam występowanie cyklicznych przyrostów biomasy różnych grup glonów (sezonowych zakwitów) oraz ich sukcesji w Morzu Bałtyckim w cyklu rocznym. Najwyższe stężenia chlorofilu a notowano wiosną (35,3 $\mu\text{g dm}^{-3}$ w wodach zatokowych). Również wysokie stężenia fukoksantyny w tym rejonie (maksymalna wartość 7,6 $\mu\text{g dm}^{-3}$) wskazywały na wiosenne zakwity okrzemek (głównie *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp.), co dodatkowo zostało potwierdzone dużą liczebnością komórek okrzemek tej grupy glonów (maksymalna wartość biomasy wyniosła 62,6 $\mu\text{gC dm}^{-3}$). Wysokie stężenia perydyniny obserwowane również wiosną (maksymalna wartość 6,13 $\mu\text{g dm}^{-3}$) potwierdziły wzrost biomasy bruzdnic (głównie *Peridiniella catenata*,

Protoperidinium spp., *Heterocapsa triquetra*) w tym czasie (maksymalna biomasa wynosiła 325,1 $\mu\text{gC}\cdot\text{dm}^{-3}$). Dla porównania – średnia zawartość tych barwników w okresach bez widocznego wzrostu biomasy odpowiednich grup glonów była około 2 – 6 razy mniejsza w przypadku fukoksantyny i ponad 6 razy mniejsza w przypadku perydyniny. Ponadto stwierdziłam, że pigmenty zidentyfikowane w wysokich stężeniach w próbkach z okresu wczesnoletniego: chlorofil c3 (w zakresie 0,098 – 0,545 $\mu\text{g dm}^{-3}$), 19'but-fukoksantyna (0,010 $\mu\text{g dm}^{-3}$) i 19'heks-fukoksantyna (w zakresie od 0,132 do 0,188 $\mu\text{g dm}^{-3}$) świadczą o obecności organizmów należących do klas złotowiciowców i prymneziofitów.

W kolejnych etapach przeprowadziłam analizy statystyczne i ustaliłam szereg matematycznych zależności pozwalających na (1) określenie sumarycznej biomasy fitoplanktonu (wyrażonej poprzez zawartość węgla organicznego) w zależności od stężenia głównego barwnika występującego w komórkach wszystkich grup glonów – chlorofilu a, oraz (2) określenie biomasy głównych klas glonów występujących w wodach Bałtyku na podstawie znajomości stężeń odpowiednich barwników wskaźnikowych. Wprowadzone przeze mnie zależności umożliwiły określenie biomasy okrzemek w funkcji stężenia fukoksantyny, sinic – w funkcji stężenia zeaksantyny, bruzdnic – perydyniny, kryptofitów – alloksantyny, zielenic – luteiny oraz sumarycznej biomasy zielenic, prazynofitów i euglenin w zależności od stężenia diadinoksantyny. Po przeprowadzeniu analizy błędów statystycznych otrzymanych aproksymacji stwierdziłam, że na podstawie znanych wartości stężeń chlorofilu a można oszacować biomasę fitoplanktonu z dokładnością $\sigma_{-}=56,6\%$ (logarytmiczny błąd statystyczny). Pomimo dużego rozrzutu analizowanych wartości, wynikających najprawdopodobniej ze zróżnicowania organizmów fitoplanktonu pod względem budowy komórek i ich cech morfologicznych, współczynnik determinacji otrzymanej zależności wyniósł $R^2 = 0,75$.

Biorąc pod uwagę wpływ wielu czynników środowiskowych na analizowane zależności oraz ich złożony charakter uznałam dokładność otrzymanych przybliżeń dla Morza Bałtyckiego za satysfakcjonującą. Zadawalającą dokładnością wykazały się przybliżenia biomasy okrzemek w funkcji stężenia fukoksantyny ($R^2=0,69$, błąd statystyczny $\sigma_{-}=61\%$), zielenic od stężenia luteiny ($R^2=0,72$, $\sigma_{-}=48\%$), sumarycznej biomasy bruzdnic, okrzemek i euglenofitów od stężenia diadinoksantyny, głównego pigmentu karotenoidowego obecnego w komórkach gatunków z tych klas ($R^2=0,63$, $\sigma_{-}=60\%$). Nieco gorsze dokładności uzyskano dla zależności pozwalającej na oszacowanie biomasy bruzdnic w zależności od stężenia perydyniny ($\sigma_{-}=69,2\%$), kryptofitów w funkcji alloksantyny ($\sigma_{-}=65,9\%$) i sinic w funkcji stężenia zeaksantyny ($\sigma_{-} = 73\%$).

W odróżnieniu od istniejących w literaturze światowej zależności, wprowadzone przeze mnie wyrażenia matematyczne opisujące prawidłowości występowania stężeń poszczególnych barwników fitoplanktonu w zależności od czynnika biotycznego uwzględniają specyfikę zbiorowisk fitoplanktonu z rejonu Morza Bałtyckiego. W kontekście badań tego ekosystemu mogą być uważane za nowatorskie.

O2. Stoń-Egiert J., Majchrowski R., Darecki M., Kosakowska A., Ostrowska M., 2012, *Influence of underwater light fields on pigment characteristics in the Baltic Sea – results of statistical analysis*, *Oceanologia*, 54(1), 7 – 27, doi:10.5697/oc.54-1.007

Kolejnym podjętym przeze mnie zagadnieniem było przeanalizowanie i określenie wpływu podwodnych pól oświetleń na występowanie barwników fitoplanktonu w Morzu Bałtyckim. Zadanie to było innowacyjne i nietrywialnie ze względu na specyfikę wód analizowanego akwenu, jak już wspomniano, niezwykle złożonego pod względem właściwości optycznych. Jako cel badań postawiłam sobie znalezienie zależności pomiędzy właściwościami optycznymi wód południowego Bałtyku a stężeniami poszczególnych grup pigmentów, zwanych „akcesoryjnymi”.

Analizę oparłam na systematycznie uzupełnianej bazie danych pomiarów empirycznych obejmujących stężenia pigmentów uzyskane metodą HPLC (Stoń i Kosakowska 2002, Stoń-Egiert i Kosakowska 2005) w próbkach wody pobieranych z powierzchni i wybranych głębokości w morzu oraz rozkłady podwodnych pól świetlnych zmierzone spektrofotometrem MER 2049 podczas 27 rejsów badawczych r/v „Oceania” w latach 1999 - 2004 w różnych sezonach i rejonach Morza Bałtyckiego. Łącznie zgromadziłam i przeanalizowałam ponad 1000 kompletów danych empirycznych.

Zidentyfikowane przeze mnie barwniki w dalszych krokach analitycznych zostały pogrupowane ze względu na ich charakterystyki absorpcyjne i pełnione funkcje. Wydzieliłam następujące grupy: (1) grupę chlorofilu a, do której należał chlorofil a wraz z optycznymi izomerami allomerem i epimerem chlorofilu a oraz chlorofilid a, (2) chlorofilu b, do której zaliczał się chlorofil b i jego pochodne, (3) chlorofilu c, do której zaliczał się chlorofil c1c2 oraz chlorofil c3 wraz z pochodnymi, (4) karotenoidów fotosyntetycznych (ang. photosynthetic carotenoids PSC) składającą się z perydyniny, fukoksantyny, α -karotenu, 19’but-fukosantyny, 19’hex-fukoksantyny, prazinoksantyny, echinenonu oraz kantaksantyny; oraz (5) grupę karotenoidów fotoochronnych (ang. photoprotectant carotenoids PPC), do której należały diadinoksantyna, alloksantyna, zeaksantyna, luteina, neoksantyna, wiolaksantyna, β -karoten, diatoksantyna, myksoksantofil i anteraksantyna).

Na podstawie analiz danych empirycznych pochodzących z różnych rejonów Morza Bałtyckiego określiłam zakresy zmienności względnych stężeń pigmentów w wodach Bałtyku w odniesieniu do stężenia chlorofilu a. W analizowanym zbiorze pigmentów zidentyfikowanych we wszystkich porach roku, tj. w różnych warunkach oświetleniowych, hydrologicznych i biologicznych występujących na różnych głębokościach w toni, największą zmiennością charakteryzowały się względne stężenia fukoksantyny ($C_{fuco}/C_{chl\ a}$ od 0,003 do 0,740) i diadinoksantyny ($C_{diad}/C_{chl\ a}$ od 0,004 do 0,665).

W pierwszej kolejności wyznaczyłam zależność opisującą rozkład względnych stężeń grup barwników od warunków oświetleniowych stosując jako zmienną niezależną głębokość optyczną (τ). Na podstawie analizy błędów otrzymanych estymacji stwierdziłam, że najlepszą dokładność uzyskano dla zależności całkowitej zawartości chlorofilu c ($\sigma_{_}=34,6\%$). Natomiast największy błąd przybliżenia ($\sigma_{_}=56,7\%$) uzyskano dla rozkładu względnych zawartości chlorofilu b. Przeprowadzone analizy wykazały spadek względnych zawartości

$C_{chl\ b\ tot}/C_{chl\ a}$ wraz ze wzrostem głębokości optycznej τ , odwrotny niż w wodach oceanicznych (Majchrowski 2001). Taki rozkład z głębokością tej grupy barwników w Morzu Bałtyckim świadczy o większym wpływie na względne zawartości barwników zróżnicowania gatunkowego fitoplanktonu na różnych głębokościach, niż aklimatyzacji do panujących warunków oświetleniowych. W odniesieniu do pozostałych grup barwników fotosyntetycznych – trendy zmienności ich względnych zawartości wraz z głębokością optyczną były rosnące, analogicznie jak w wodach oceanicznych, co wskazuje na dominację procesów fotoaklimatyzacji zachodzących w komórkach glonów i cyjanobakterii. Porównanie błędów oszacowania stężeń głównych grup pigmentów: fotosyntetycznych i fotoochronnych uzyskanych dla wód Bałtyku i wód oceanicznych wykazało, że w przypadku przybliżeń chlorofilu b i karotenoidów fotosyntetycznych – zależności opracowane dla wód Bałtyku obarczone są większym logarytmicznym błędem statystycznym ($\sigma_{\text{Bałtyk}}=56,7\%$ dla $C_{chl\ b\ tot}$ i $\sigma_{\text{Bałtyk}}=41,3\%$ dla $C_{PSC\ tot}$) niż w przypadku zależności oceanicznych ($\sigma_{\text{ocean}}=42,2\%$ dla $C_{chl\ b\ tot}$ i $\sigma_{\text{ocean}}=25,7\%$ dla $C_{PSC\ tot}$). Natomiast w przypadku przybliżeń $C_{chl\ c\ tot}$ logarytmiczny błąd statystyczny jest mniejszy dla wód Bałtyku w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla wód oceanicznych i wynosi $\sigma_{\text{Bałtyk}}=34,6\%$ dla aproksymacji uzyskanej dla Morza Bałtyckiego i $\sigma_{\text{ocean}}=39,4\%$ dla aproksymacji dla oceanu. W odniesieniu do karotenoidów fotoochronnych dokładność zależności była na zbliżonym poziomie i wynosiła $\sigma_{\text{Bałtyk}}=38,4\%$ dla wód Bałtyku i $36,1\%$ dla oceanu.

Następnie opracowałam zależności matematyczne opisujące proces adaptacji komórek fitoplanktonu do występujących w środowisku Morza Bałtyckiego warunków oświetleniowych. W tym celu wykorzystałam zdefiniowane uprzednio dla wód oceanicznych (1) funkcję spektralnego dopasowania (F_i), oraz (2) potencjalnie destruktywną radiację PDR (ang. Potentially Destructive Radiation) (Babin i in. 1996, Majchrowski i in. 1998, Majchrowski 2001, Woźniak i in. 2003, Woźniak i Dera 2007). Funkcja F_i , zwana również współczynnikiem dopasowania chromatycznego pozwala określić dopasowanie właściwości absorpcyjnych zestawu pigmentów w komórkach glonów do występujących warunków oświetleniowych. Jest zależna od spektralnej funkcji rozkładu oświetlenia odgórnego w zakresie fotosyntetycznie aktywnej radiacji (PAR, 400-700 nm) na danej głębokości i specyficznych współczynników absorpcji światła przez analizowaną grupę pigmentów fotosyntetycznych. Natomiast PDR jest zależna od wielkości energii w niebiesko-zielonej części widma promieniowania słonecznego (400-480 nm), która zaabsorbowana przez cząsteczkę chlorofilu a może spowodować jego fotooksydację. Funkcja dopasowania chromatycznego F_i jest wykorzystywana do analiz względnych rozkładów stężeń barwników fotosyntetycznych w kolumnie wody, z kolei PDR jest skorelowana z względnymi stężeniami barwników fotoochronnych na danej głębokości. Stosowałam analogiczne postaci funkcji jak wprowadzone dla wód oceanicznych typu WC1, co pozwoliło mi na ocenę przydatności stosowanych rozwiązań matematycznych dla innych akwenów, zawierających znacząco ilość optycznie aktywnych zawieszin, które modyfikują w znaczący sposób warunki propagacji promieniowania słonecznego w toni.

Podobnie jak w przypadku zależności od głębokości optycznej, przeprowadziłam walidację uzyskanych przybliżeń. Stwierdziłam, że najmniejszy błąd oszacowań dotyczy

całkowitej zawartości chlorofilu c ($\sigma = 34,6\%$), największy – całkowitego chlorofilu b ($\sigma = 57,3\%$). Analiza porównawcza wyników uzyskanych dla akwenów Bałtyckich (WC2) i oceanicznych (WC1) wykazała, że proces adaptacji komórek fitoplanktonu do warunków oświetleniowych w Morzu Bałtyckim jest bardziej złożony, o czym świadczą wyższe błędy uzyskanych dla Bałtyku formuł. Jedynie w przypadku aproksymacji względnych wartości stężeń chlorofilu c w Bałtyku uzyskano o 8,8 % mniejsze wartości statystycznego błędu logarytmicznego niż w przypadku przybliżeń oceanicznych. Wysokie wartości błędów wynikają z różnic w rozkładach spektralnych podwodnych pól oświetleń na różnych głębokościach w dwóch typach wód (WC1 i WC2). Do głębokich rejonów wód oligotroficznych (takich jak wody oceaniczne) dociera światło głównie z niebiesko-zielonej części widma, podczas gdy w wodach eutroficznych (takich jak wody Bałtyku) najgłębiej penetruje światło z innego przedziału widmowego. Spektralny rozkład oświetlenia w wodach typu WC2 wykazuje maksimum przesunięte w kierunku światła czerwonego, co może skutkować spadkiem względnej koncentracji karotenoidów fotosyntetycznych, a rolę anten w procesie fotosyntezy przejmują inne barwniki, np.: fikobiliny, które nie zostały uwzględnione w przedstawianych w tej pracy analizach.

O3. Sobiechowska-Sasim M., Stoń-Egiert J., Kosakowska A., 2014, *Quantitative analysis of extracted phycobilin pigments in cyanobacteria—an assessment of spectrophotometric and spectrofluorometric methods*, Journal of Applied Phycology, 26, 2065-2074, doi: 10.1007/s10811-014-0244-3

Kolejnym podjętym przeze mnie zagadnieniem było wprowadzenie odpowiedniej metodyki pomiarowej pozwalającej na izolację fikobilin z komórek fitoplanktonu i uwzględnienie ich w badaniach procesów fotoadaptacji glonów do warunków oświetleniowych w Morzu Bałtyckim. Jest to grupa barwników o odmiennych właściwościach fizyko-chemicznych niż analizowane dotychczas chlorofile i karotenoidy. Jako jedyne barwniki absorbują światło w przedziale widmowym 500-660 nm, dzięki czemu ich obecność znacząco rozszerza możliwości adaptacyjne komórek fitoplanktonu. Wykazują one ogromny potencjał jako biomarkery gatunków sinic, aczkolwiek zostały również zidentyfikowane w komórkach organizmów należących do klas kryptofitów i glonów czerwonych. Barwniki te nie były dotychczas oznaczane w naszym zespole, ponieważ włączenie ich do rutynowych pomiarów i dalszych analiz wymagało wprowadzenia odpowiednich procedur metodyczno-pomiarowych pozwalających na ich izolację z komórek oraz właściwe ilościowe scharakteryzowanie.

W pracy przedstawiłam pogłębione analizy dwóch metod wykorzystujących właściwości spektralne fikobilin w ekstraktach wodnych. Badania nad ustaleniem właściwości absorpcyjnych i fluorescencyjnych fikobilin prowadziłam przy wykorzystaniu wysokiej czystości wzorców fikocyjaniny (PC), fikoerytryny (PE) i allofikocyjaniny (APC) (ProZyme Inc.). Badania kalibracyjne i pomiary przeprowadzane były w kilku zaplanowanych seriach pomiarowych w latach 2010-2013. Uzyskane spektrofotometryczne i spektrofluorometryczne charakterystyki pojedynczych pigmentów fikobilinowych wykazały różnice w rozkładach

widm absorpcji i fluorescencji badanych związków. Na podstawie analizy przeprowadzonych pomiarów wybrane zostały charakterystyczne długości fal maksymalnej absorpcji (λ_{\max}) wykorzystywane w dalszych etapach w pomiarach spektrofotometrycznych oraz długości fal maksymalnej emisji (λ_{em}) przy odpowiednim wzbudzeniu cząsteczek barwników (λ_{ex}) wykorzystywane w dalszych etapach analiz spektrofluorometrycznych. Ustalono dla fikocyjaniny: $\lambda_{\max}=620$ nm dla pomiarów spektrofotometrycznych i $\lambda_{\text{em}}=644$ nm przy wzbudzeniu $\lambda_{\text{ex}}=590$ nm dla pomiarów spektrofluorometrycznych; dla fikoerytryny: $\lambda_{\max}=565$ nm i $\lambda_{\text{em}}=576$ nm przy wzbudzeniu $\lambda_{\text{ex}}=530$ nm, dla allofikocyjaniny: $\lambda_{\max}=650$ nm i $\lambda_{\text{em}}=660$ nm przy wzbudzeniu $\lambda_{\text{ex}}=600$ nm. W dalszym etapie prac wyznaczono wielopunktowe krzywe kalibracyjne dla obu technik pomiarowych, określono czułości metod, ustalono precyzję oznaczeń dla różnych warunków pomiarowych, granice wykrywalności badanych fikobilin oraz zakres oznaczanych stężeń. W wyniku przeprowadzonych prac ustalono krzywe kalibracyjne (współczynnik korelacji tych krzywych mieścił się w przedziale 0,985 do 0,999) i współczynniki kalibracyjne f_a , niezbędne do określenia stężeń tych związków w ekstraktach. Ustalono, że różnice czułości tych dwóch metod pomiarowych wynoszą 5 rzędów, minimalna granica wykrywalności fikobilin w pomiarach spektrofotometrycznych pokrywała się z maksimum oznaczania ilościowego w pomiarach spektrofluorometrycznych. Przeanalizowano również powtarzalność stosowanych metod i ustalono średni błąd powtarzalności metody fluorometrycznej wynoszący 4,6%. Przeprowadzono pomiary pozwalające na określenie stabilności wyekstrahowanych cząstek fikobilin. Stwierdzono spadek intensywności fluorescencji od średnio 3 do 14% w zależności od badanego związku przy jednoczesnym spadku absorbancji od 0,4 do 3,5%.

W kolejnych etapach oceniona została przydatność tych dwóch metod analitycznych do oznaczania wyekstrahowanych fikobilin przy wykorzystaniu hodowli organizmów należących do grupy cyjanobakterii. Stężenie fikobilin obliczono przy użyciu wprowadzonych równań kalibracyjnych, a otrzymane wyniki były porównywalne. Potwierdzono wysoką precyzję oznaczeń. Wyznaczane obiema metodami wartości stężeń z zakresu 3 rzędów wielkości różniły się średnio o 8,1% ($\pm 7,7\%$). Dalsze badania potwierdziły fotosyntetyczną funkcję barwników fikobilinowych jako 'anten' w aparacie fotosyntetycznym komórek badanych gatunków. Potwierdzono również, że w wielu gatunkach sinic barwniki fikobilinowe występują w wyższych stężeniach niż chlorofil a.

W wyniku przeprowadzonych badań zaproponowałam procedury metodyczne spełniające wymagania niezbędne do wprowadzenia ich do pomiarów środowiskowych, pozwalających na wykrywanie obecności fikobilin w próbach fitoplanktonu w Bałtyku. Procedury te mają szeroki zakres stosowalności. Umożliwiają określanie stężeń pigmentów fikobilinowych w zakresie od 0,001 do 10 $\mu\text{g cm}^{-3}$, co pozwala na badanie obecności i monitorowanie ilości fikobilin w różnych ekosystemach o skrajnie różnej troficzności. Przedstawiona nowatorska metodyka pomiarowa została już wykorzystana w rutynowo prowadzonych badaniach środowiskowych Morza Bałtyckiego oraz do analiz związków optycznie aktywnych w komórkach monokultur sinic z gatunków tworzących zakwity w Bałtyku i ekosystemach słodkowodnych.

O4. Wojtasiewicz B., Stoń-Egiert J., 2016, *Biooptical characterization of selected cyanobacteria strains present in marine and freshwater ecosystems*, Journal of Applied Phycology, 28, 4, 2299–2314, doi 10.1007/s10811-015-0774-3

Kolejnym celem było zbadanie możliwości wykorzystanie stężeń barwników: chlorofili, karotenoidów i fikobilin, jako wskaźników obecności sinic oraz scharakteryzowanie na ich podstawie właściwości biooptycznych tej grupy glonów. Jak wiadomo w ostatnich latach w ekosystemach bałtyckich obserwowany jest wzrost biomasy sinic (Pliński i in. 2007, Mazur Marzec i in. 2013), a letnie zakwity obserwowane są niemal rokrocznie. Zatem, badania tej grupy organizmów wpisywały się w bieżące trendy analiz.

Badaniom poddano 10 szczepów hodowlanych sinic (*Aphanizomenon flos-aquae* KAC 15, *Microcystis aeruginosa* CCNP 1101, *Anabaena* sp. CCNP 1406, *Synechocystis salina* CCNP 1104, *Phormidium* sp. CCNP 1317, *Nodularia spumigena* CCNP 1401, *Synechococcus* sp. CCNP 1108, *Nostoc* sp. CCNP 1411, *Cyanobacterium* sp. CCNP 1105, *Pseudanabaena cf. galeata* CCNP 1312), występujących w ekosystemach Morza Bałtyckiego i jeziorach pomorskich. Na drodze pomiarów laboratoryjnych przy wykorzystaniu nowoczesnych technik pomiarowych wyznaczono szereg parametrów określających optyczne właściwości komórek sinic i związków odpowiedzialnych za absorpcję promieniowania. Były to między innymi mierzone *in vivo*: współczynniki absorpcji światła $a_{ph}(\lambda)$, współczynniki rozpraszania $b_p(\lambda)$ i osłabiania światła $c_p(\lambda)$ przez komórki fitoplanktonu w zakresie spektralnym 350-800 nm określone przy wykorzystaniu dwuwiązkowego spektrofotometru Perkin Elmer Lambda 850 wyposażonego w sferę integrującą (Labsphere), stężenia barwników wyizolowanych z komórek (*in vitro*): chlorofili i karotenoidów wyznaczone za pomocą metody chromatograficznej HPLC oraz stężenia fikobiliprotein wyznaczone dzięki wykorzystaniu pomiarów spektrofluorometrycznych. Określono również rozkład rozmiarów komórek sinic w hodowlach metodą konduktometryczną.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono duże zróżnicowanie właściwości optycznych badanych gatunków. Wskaźnik podobieństwa widm absorpcyjnych (ang. similarity index SI, Millie in. 2002) mieścił się w zakresie od 0,67 do 0,94, a wartość specyficznego (odniesionego do stężenia chlorofilu a) współczynnika absorpcji badanych gatunków w $\lambda=440$ nm, $a_{ph}^*(440)$, wahała się między 0,017 a 0,065 m² mg⁻¹. Wpływ efektu upakowania, opisującego wpływ wielkości absorbujących komórek i rozmieszczenia w nich pigmentów na właściwości absorpcyjne zaobserwowano jedynie w przypadku dużych sinic nitkowatych, takich jak *N. spumigena* ($Q_a^*(675) = 0,67$) czy *Nostoc* sp. ($Q_a^*(675) = 0,77$). Natomiast w przypadku dużych komórek *Anabaena* sp. wpływ efektu upakowania na charakterystyki absorpcji był niezauważalny.

Stwierdzono również niejednorodną kompozycję barwników występujących w komórkach. Poza chlorofilem a we wszystkich analizowanych szczepach sinic obecne były echinenon, β -karoten i fikocyjanina. Karotenoidy takie jak zeaksantyna, kantaksantyna, afanizofil, myksoksantofil oraz fikoerytryna różnicowały jakościowo badane szczepy wpływając na ich odpowiednie charakterystyki absorpcyjne. Stwierdzono, że zeaksantyna, która jest szeroko stosowana jako barwnik znacznikowy dla sinic, nie występowała w komórkach *Nodularia*

spumigena i *Anabaena* sp., które są gatunkami występującymi w Morzu Bałtyckim najczęściej powodującymi letnie zakwity.

W dalszych krokach zastosowano analizę czwartej pochodnej widm współczynników absorpcji fitoplanktonu, będącej cennym narzędziem w określaniu lokalizacji maksimów absorpcji. Znajomość składu pigmentów pozwoliła na odpowiednią interpretację i przypisanie istniejących pasm maksymalnej absorpcji konkretnym związkom barwnym. We wszystkich analizowanych szczepach obserwowano maksima absorpcji w przedziałach długości fali $\lambda = 462-474$ nm, $492-509$ nm i $517-529$ nm, które zostały powiązane z karotenoidami i ksantofilami, takimi jak β -karoten, zeaksantyna, alloksantyna i afanizofil. Stwierdzono również, że maksimum występujące w przedziale $567-571$ nm jest spowodowane obecnością fitoerytryny. Natomiast ostatnie bardzo wyraźne maksimum absorpcji znajdujące się w pobliżu 630 nm powiązano z obecnością fikocyjaniny, której maksimum absorpcji *in vivo* zaobserwowano przy $612-626$ nm.

Uzyskane w tej pracy rezultaty przyczyniły się do rozwoju wiedzy o środowisku morskim. Analizy wykonane w oparciu o materiał biologiczny, jakim były monokultury hodowane w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, stanowią tzw. 'case study' w badaniach i interpretacji wyników prób pozyskanych ze środowiska naturalnego. Stanowią podstawę metod identyfikacji taksonomicznej glonów, co może prowadzić do wykrywania zakwitów konkretnych gatunków sinic. W dalszych etapach uzyskane wyniki mogą być wykorzystane do rozwoju algorytmów stosowanych w bezinwazyjnych i zdalnych metodach badania i monitorowania środowiska Morza Bałtyckiego, takich jak metody satelitarne.

O5. Stoń-Egiert J., Majchrowski R., Ostrowska M., 2019, *Distributions of photosynthetic and photoprotecting pigment concentrations in the water column in the Baltic Sea: an improved mathematical description*, Oceanologia, 61(1), 1-16, doi:10.1016/j.oceano.2018.08.004007

Zagadnienia związane z absorpcją światła przez komórki glonów w morzu są niezwykle istotne przy analizie procesów przenoszenia energii promienistej, zasilania ekosystemów wodnych w energię i jej utylizację w procesie produkcji materii organicznej. Matematyczne opisy głębokościowych rozkładów stężeń barwników, głównych składników absorbujących w komórkach glonów, zostały opracowane z zadawalającą dokładnością dla wód oceanicznych. W przypadku Morza Bałtyckiego, akwenu o właściwościach optycznych kształtowanych nie tylko przez fitoplankton, ale wynikających również z obecności innych znaczących optycznie zawiesin pochodzenia allogenicznego oraz substancji rozpuszczonych, zagadnienie to jest znacznie bardziej złożone.

Inspiracją do przeprowadzenia badań prezentowanych w tej pracy był brak fizycznie uzasadnionych zależności umożliwiających szacowanie składu barwnikowego w komórkach fitoplanktonu w Morzu Bałtyckim z dokładnością porównywalną do wzorów opracowanych dla wód oceanicznych. Stosowane dotychczas formuły matematyczne umożliwiały oszacowanie stężeń barwników w wodach Bałtyku na podstawie ich statystycznych zależności od głębokości optycznej i stężenia powierzchniowego chlorofilu a, wyznaczonych

oddzielnie dla lata i zimy (Majchrowski i in. 2007), lub uwzględniały jedynie charakterystyczne dla poszczególnych barwników funkcje spektralnych dopasowań (Stoń-Egiert i in. 2012). Zatem, celem podjętych prac było ustanowienie nowych zależności matematycznych opisujących rozkłady stężeń barwników fotosyntetycznych i fotoochronnych w kolumnie wody w Morzu Bałtyckim uwzględniających wzajemny wpływ pigmentów o podobnych właściwościach absorpcyjnych na ich całkowite stężenie i względne proporcje w aparacie fotosyntetycznym.

W badaniach przedstawionych w tej pracy analizie poddano uzyskane przeze mnie wartości stężeń barwników w próbkach wody morskiej pobranych z różnych głębokości w latach 1999-2016 w czasie rejsów w różnych sezonach i różnych rejonach Morza Bałtyckiego oraz spektralne rozkłady podwodnych pól oświetlenia. Skompletowany w ramach realizacji poprzednich zadań badawczych zbiór danych uzupełniłam do ponad 1500 kompletów stężeń barwników zmieniających się w szerokim zakresie wartości. Stężenie chlorofilu a mieściło się w zakresie czterech rzędów wielkości, od 0,05 do $>20 \text{ mg m}^{-3}$, co oznacza, że dane wejściowe do dalszych analiz (obejmujące 9 typów troficznych od oligotroficznych do eutroficznych) są reprezentatywne dla różnych typów ekosystemów bałtyckich.

Analizy przeprowadziłam oddzielnie dla grupy barwników fotosyntetycznych i fotoochronnych, których stężenia są efektem procesów chromatoadaptacji i fotoadaptacji komórek glonów. Względne stężenia pigmentów fotosyntetycznych rosną wraz z głębokością, ponieważ w efekcie procesów adaptacji chromatycznej komórek fitoplanktonu następuje produkcja pigmentów o właściwościach absorpcyjnych optymalnie wykorzystujących widmowe rozkłady oświetlenia na głębokościach, na których glony znajdują się w danym momencie. Stąd w aparacie fotosyntetycznym fitoplanktonu wzrasta udział tych barwników, których zakresy absorpcji światła obejmują odpowiednie pasma występujące w podwodnych polach oświetlenia, a w których chlorofil a nie absorbuje. W analizach przeprowadzonych w tej pracy po raz pierwszy uwzględniona została obecność dodatkowych barwników w komórkach glonów i ich wpływ na proces adaptacji chromatycznej. Przeanalizowałam statystyczną zależność względnych stężeń chlorofili b i c nie tylko od ich indywidualnych funkcji dopasowania widmowego, ale również w zależności od funkcji dopasowania widmowego chlorofilu a. W odniesieniu do analiz dotyczących względnych stężeń grupy karotenoidów fotosyntetycznych uwzględniłam średnie funkcje dopasowania wyznaczone dla tej grupy barwników. Z kolei pionowe rozkłady względnych stężeń barwników fotoochronnych wskazują na wyższe wartości ich stężeń na powierzchni. Wynika to z intensyfikacji w tej warstwie procesów adaptacyjnych komórek fitoplanktonu związanych z wytwarzaniem pigmentów o odpowiednich charakterystykach absorpcyjnych pozwalających na dezaktywację szkodliwego promieniowania w zakresie spektralnym 400-480 nm. W przypadku tej grupy barwników opracowałam zależność opisującą względne rozkłady stężeń barwników fotoochronnych w kolumnie wody, uwzględniając wielkość radiacji z tego zakresu spektralnego (tzw. PDR).

Przeprowadzone analizy wskazują, że formuły opracowane zgodnie z tymi założeniami, zweryfikowane na podstawie obszernego zestawu danych empirycznych pozyskanych z różnych części Morza Bałtyckiego umożliwiają znacznie dokładniejsze aproksymacje

względnych pionowych rozkładów stężeń barwników niż wyprowadzone wcześniej zależności statystyczne. Analiza błędów uzyskanych estymacji wykazała, że standardowy czynnik błędów x wynosi od 1,32 do 1,73 i jest na poziomie błędów zależności uzyskanych dla wód oceanicznych, co oznacza, że dokładność otrzymanych przybliżeń dla Morza Bałtyckiego jest satysfakcjonująca. Warto zauważyć, że w przypadku względnych zawartości chlorofili c i karotenoidów fotoochronnych dokładność estymacji na podstawie przedstawionych w pracy zależności okazała się nawet lepsza niż w przypadku zależności opracowanych wcześniej dla wód oceanicznych.

Otrzymane zależności umożliwiają śledzenie głębokościowych zmian względnych stężeń głównych grup barwników w wodach Bałtyku w zróżnicowanych spektralnie i natężeniowo warunkach oświetleniowych na dowolnej głębokości w strefie eufotycznej i poniżej (tj. do głębokości optycznej $\tau=7$), niezależnie od pory roku. Pozwala to na monitorowanie zarówno rocznych jak i sezonowych zmienności stężeń barwników na różnych głębokościach. Takie wiarygodne informacje dotyczące składu ilościowego i jakościowego barwników w komórkach fitoplanktonu na dowolnej głębokości, uzyskane na podstawie znanych wartości chlorofilu a oraz widmowego rozkładu natężenia promienienia w wodzie, mogą stanowić podstawę szeregu analiz służących do oceny stanu i funkcjonowania ekosystemów bałtyckich.

O6. Stoń-Egiert J., Ostrowska M., 2022, *Long-term changes in phytoplankton pigment contents in the Baltic Sea: Trends and spatial variability during 20 years of investigations*, Continental Shelf Research, 2022, 236, 104666, doi:10.1016/j.csr.2022.104666

W kolejnym etapie prac odnoszących się do różnych aspektów występowania pigmentów fitoplanktonu w ekosystemach bałtyckich jako wskaźników zmian środowiska Morza Bałtyckiego podjęłam próbę określenia zmian zarówno kompozycji barwników, jak i ich koncentracji w kontekście zachodzących zmian klimatycznych. Realizowanym celem było określenie zmian jakościowej i ilościowej kompozycji barwników w cyklu rocznym oraz określenie trendów zmian stężeń chlorofili i karotenoidów w różnych ekosystemach Morza Bałtyckiego na przestrzeni 20 lat badań. Analiza ponad 2300 kompletów badań z lat 1999-2018 została przeprowadzona pod kątem zmieniających się warunków środowiskowych w ekosystemach Zatoki Gdańskiej i wód otwartego Bałtyku.

Skompletowany przez mnie bank danych stężeń barwników fitoplanktonu wyznaczonych metodą HPLC jest reprezentatywny dla całego obszaru Morza Bałtyckiego, gdyż obejmuje zarówno akweny zatok, jak i wód otwartych. Przeprowadzone analizy zmienności stężeń i kompozycji zidentyfikowanych barwników w cyklu rocznym wskazały szereg prawidłowości dotyczących nie tylko sumarycznej biomasy glonów ale też występowania sezonowych cykli rozwojowych poszczególnych klas fitoplanktonu. Ustaliłam charakterystyczne dla sezonowych zakwitów zakresy zmienności stężeń chlorofilu a i barwników wskaźnikowych w obu obszarach. Wiosenny przyrost biomasy fitoplanktonu charakteryzował się maksymalną średnią wartością stężenia chlorofilu a wynoszącą $15,12 \pm 16,89 \mu\text{g dm}^{-3}$ w rejonie Zatoki Gdańskiej i $4,43 \pm 4,48 \mu\text{g dm}^{-3}$ w wodach otwartego morza,

letni - $9,06 \pm 9,63 \mu\text{g dm}^{-3}$ w wodach zatokowych, i jesienny wynoszący $6,37 \pm 8,12 \mu\text{g dm}^{-3}$ w Zatoce Gdańskiej i $4,11 \pm 3,06 \mu\text{g dm}^{-3}$ w wodach otwartych. Sezonowe przyrosty biomasy występują w obu rejonach z miesięcznym przesunięciem czasowym (wcześniej w Zatoce). Na przykład – jesienny zakwit okrzemek w Zatoce występuje we wrześniu, natomiast w wodach otwartych – w październiku. Analiza zmian w kompozycji barwników, w szczególności tzw. barwników wskaźnikowych pozwoliła na zaobserwowanie charakterystycznej dla fitocenz bałtyckich sukcesji fitoplanktonowej. Zakwitom odpowiednich grup fitoplanktonu odpowiadały wysokie stężenia barwników wskaźnikowych.

Analiza zmienności stężeń barwników w cyklu rocznym pozwoliła na formułowanie wniosków dotyczących fitocenz bałtyckich i rozwijających się w różnych ekosystemach grup glonów. Stwierdziłam, że sytuacja termiczna wód w okresie wiosennym oraz obecność substancji biogenicznych niewyczerpanych po zakwitach okrzemek stwarza komfortowe warunki do wzmożonego rozwoju bruzdnic oraz kryptofitów co potwierdzono poprzez wysoką zawartość odpowiednio perydyniny i alloksantyny w obu rejonach w kwietniu. W tym miesiącu odnotowano też najwyższe w cyklu rocznym średnie stężenia chlorofilu c1c2 i diadinoxantyny, barwników stanowiących więcej niż 10% całkowitej ilości pigmentów występujących w komórkach kryptofitów, okrzemek i bruzdnic. W sezonie letnim zaobserwowano występowanie wyższych stężeń barwników charakterystycznych dla organizmów z grupy sinic: zeaksantyny, echinenonu i kantaksantyny. Podobną zmienność średnich stężeń w cyklu rocznym zaobserwowano dla β -karotenu, występującego w komórkach wszystkich organizmów fitoplanktonowych, w tym również sinic. Zidentyfikowane latem barwniki chlorofil b, luteina, neoksantyna, anteraksantyna i wiolaksantyna wskazywały na obecność w skupisku fitoplanktonu również organizmów należących do grupy zielenic. W analizowanym zbiorze danych zidentyfikowano również chlorofil c3, 19'hex-fukoksantynę, 19'but-fukoksantynę, będące wskaźnikami prymneziofitów i chryzofitów oraz prazinoksantynę (wskaźnik prazinofitów) Te grupy glonów są również komponentami fitocenz bałtyckich, jednakże ich wkład w sumaryczną biomasa fitoplanktonu jest niewielki i stanowi mniej niż 1% całkowitej biomasy fitoplanktonu w obu rejonach (Stoń-Egiert i in. 2010). Pomimo, że barwniki te miały niewielki wkład procentowy do wszystkich zidentyfikowanych pigmentów, ich zmienność w cyklu rocznym wskazywała wyraźne okresy wzrostu i rozwoju związanych z nimi klas glonów. Sezonowy rozkład średnich stężeń barwników występujących w komórkach większości grup glonów, takich jak: diadinoxantyna, diatoksantyna czy α -karoten, odzwierciedlał ilościowe zmiany biomasy fitoplanktonu w cyklu rocznym. Natomiast kondycję fizjologiczną organizmów tworzących fitocenzę oraz jej stan rozwoju odzwierciedlała zmienność w cyklu rocznym pochodnych barwników – feofityny a, chlorofylidu a, feoforbidu a. Ich występowanie w próbkach fitoplanktonu świadczy o zachodzących procesach degradacji komórek wynikających np. z procesów starzenia populacji.

W kolejnym etapie analiz, inspirując się udokumentowanymi zmianami wartości szeregu parametrów środowiskowych, między innymi temperatury, koncentracji chlorofilu a, czy ilości fitoplanktonu w różnych obszarach Oceanu Światowego, podjęłam próbę określenia trendów zmian stężeń barwników w różnych rejonach Morza Bałtyckiego. Analizy danych dotyczących koncentracji chlorofilu a w wodach Południowego Bałtyku wykazały, że w Morzu

Bałtyckim wieloletnie trendy zmian tego barwnika są również widoczne. Chlorofil a wykazywał wyraźnie malejący trend w obu obszarach wynoszący -2.11 %/rok w rejonie Zatoki Gdańskiej i -2,41 %/rok w rejonie otwartego morza. Podobne trendy obserwowano w latach 1990-2000 w Basenie Bornholmskim (Fleming-Lehtinen i in. 2008). Malejący trend zawartości chlorofilu a może świadczyć o zmniejszającej się eutrofizacji wód Bałtyku wynikającej z ograniczenia napływu nutrietów wraz ze sływem rzeczny (HELCOM 2018a, b). Warto zauważyć, że w porównaniu z trendami uzyskanymi dla wód Oceanu Światowego spadek biomasy fitoplanktonu szacowany na podstawie koncentracji chlorofilu a w Bałtyku jest szybszy. Wskazuje to na bardziej dynamiczny, niż w przypadku oceanów, sposób reakcji ekosystemu tego półzamkniętego morza na uwarunkowania zewnętrzne.

Analizując trendy zmian stężeń barwników w latach 1999–2018 określających strukturę gatunkową fitocenoz stwierdziłam malejący trend w zawartości okrzemek określanych poprzez stężenie fukoksantyny. Określone tempo zawartości okrzemek w Morzu Bałtyckim wynosiło w obu rejonach -0,10 %/rok, wskazywało na znacząco wolniejszy spadek w porównaniu z wodami oceanicznymi (np. -1,22 %/rok lub -1,00 %/rok w wodach Północnego Pacyfiku, Rousseaux i Gregg 2015). Wyniki te są zgodne z otrzymaną dla lat wcześniejszych (1979-1999) tendencją malejącą zawartości okrzemek w rejonie południowego Bałtyku (Wasmund i Uhlig 2003).

Malejące trendy odnotowane w przypadku alloksantyny (wskaźnika kryprofitów) wskazują na znaczące szybsze tempo zmian średnich stężeń tego barwnika w wodach zatokowych (-2,28 %/rok w badanym 20-leciu) w porównaniu z wodami otwartego Bałtyku (-0,54%/rok w analizowanej bazie danych). Natomiast w przypadku barwników charakterystycznych dla zielenic: chlorofilu b i neoksantyny, stwierdzono 3-krotnie wolniejszy trend spadku wartości średnich stężeń (-1,30 i -1,37 %/rok) w wodach Zatoki Gdańskiej niż w wodach otwartych (-3,31 i 3,38 %/rok). W odniesieniu do wód północnego Atlantyku, w których obserwowano malejący trend ilości zielenic wynoszący -9,70 %/rok (Rousseaux and Gregg 2015), notowane w Bałtyku trendy nie były tak znaczące.

Malejący trend średnich stężeń perydyniny, wskaźnika obecności bruzdnic, odnotowano również w obu badanych rejonach. W wodach Zatoki Gdańskiej tempo zmian perydyniny w badanym okresie wynosiło -4,35 %/rok natomiast w wodach otwartego Bałtyku -5,55 %/rok, podczas gdy badania obejmujące lata 1979-1999 wskazują na wzrost zawartości bruzdnic w rejonie Bałtyku Centralnego (Wasmund and Uhlig 2003).

Jedynym barwnikiem wykazującym tendencje rosnące w analizowanym okresie 20 lat jest zeaksantyna – wskaźnik obecności sinic formujących letnie zakwity w wodach Bałtyku. Sinice występują w fitocenozie w różnych sezonach roku, aczkolwiek intensywny wzrost zawartości ich komórek w wodzie jest związany z występowaniem odpowiednio wysokiej temperatury wody oraz warunkami meteorologicznymi skutkującymi niskim stopniem sfałowania powierzchni wody i dostępnością składników odżywczych. Wszystkie te czynniki powodują wzmożony rozwój ich biomasy głównie formowany przez większe komórki cyjanobakterii (*Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* i *Anabaena* sp.) oraz pikocyjanobakterie, występujący coraz częściej w Morzu Bałtyckim (Pliński i in. 2007, Olofsson i in. 2020). W ciągu 20 lat badań środowiska Morza Bałtyckiego stwierdzono wzrost średnich rocznych stężeń karotenoidowego wskaźnika sinic - zeaksantyny o ok. 7,2 %/rok

w wodach Zatoki Gdańskiej i 1,5 %/rok w wodach otwartego morza. Badania dokumentujące zmiany zawartości cyjanobakterii w wodach Bałtyku w latach 1979-1999 wskazują różne trendy w zależności od analizowanego obszaru, np. malejący głównie w cieśninach Kattegat/Belt Sea i rosnący w okolicy we wschodniej części Gotlandii (Wasmund i Uhlig 2003). Podobny rosnący trend zawartości sinic odnotowano w latach 1990-2010 w centralnej i północnej części Bałtyku (Griffiths i wsp. 2020).

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują, że w analizowanym 20-letnim okresie zaszły istotne zmiany w ekosystemach Morza Bałtyckiego. Przedstawione trendy zmian średnich rocznych stężeń różnych barwników wskaźnikowych występujących w największych ilościach i wykazujących istotne statystycznie tendencje mogą sugerować zmiany struktury klas populacji fitoplanktonu w Bałtyku. Można wnioskować, że w analizowanym dwudziestoleciu zmniejszeniu uległa biomasa okrzemek, bruzdnic, zielenic i kryptofitów natomiast nastąpił wzrost biomasy sinic. Trendy te mogą być efektem zmian warunków hydrologicznych, będących konsekwencją zachodzących zmian klimatycznych. Stwierdzone w obu analizowanych regionach malejące trendy średnich stężeń barwników, w tym przede wszystkim chlorofilu a, mogą sugerować, że przynajmniej w niektórych obszarach Morza Bałtyckiego, obserwowana od lat 1990-tych nadmierna eutrofizacja nie pogłębia się. Potwierdzają to również doniesienia HELCOM oraz analiza zmian wartości produkcji pierwotnej w latach 1993-2018 w wodach Zatoki Gdańskiej i otwartego morza (Łysiak-Pastuszek i in. 2004, HELCOM, 2009, 2018a, b, Zdun i in. 2021).

Podsumowanie

Przedstawione w powyższym cyklu publikacji rezultaty będące kolejnymi etapami realizacji poszczególnych zadań badawczych nie tylko potwierdziły tezę zakładającą, że analizy stężenia i składu barwników zawartych w komórkach fitoplanktonu mogą służyć jako wiarygodne narzędzie do badania zmian środowiska Morza Bałtyckiego, ale też znacząco przyczyniły się do rozwoju wiedzy o ekosystemie tego akwenu, różniącego się znacznie od ekosystemów otwartych wód oceanicznych. Zgromadzono obszerną, unikalną bazę danych obejmującą ponad 2300 kompletów pomiarów stężeń barwników oraz biotycznych i abiotycznych charakterystyk środowiska morskiego opisujących jego stan w różnych rejonach i sezonach w ciągu analizowanego dwudziestolecia. Na podstawie zebranych danych empirycznych ustalono uwzględniając specyfikę Morza Bałtyckiego zależności matematyczne opisujące z dobrą dokładnością wzajemne powiązania szeregu parametrów środowiskowych ze stężeniem i kompozycją pigmentów w komórkach fitoplanktonu. Warto przy tym podkreślić, że jak wykazały analizy, w przypadku tego akwenu stosowanie uniwersalnych zależności opracowanych na podstawie danych zebranych w wodach oceanicznych, bądź pochodzących z eksperymentów laboratoryjnych może prowadzić do błędnych wniosków zarówno ilościowych jak i jakościowych.

Cennym uzupełnieniem analiz pigmentów oznaczanych metodą HPLC stało się włączenie do rutynowych badań tzw. fikobilin, barwników występujących głównie w organizmach cyjanobakterii. Otworzyło to nowe możliwości badawcze obejmujące między innymi monitorowanie i analizy powtarzających się w ostatnich latach ich potencjalnie

szkodliwych zakwitów. Jest to jeden z najbardziej intensywnie rozwijanych i aktualnych tematów badawczych będący w centrum zainteresowania również ze względów społecznych i gospodarczych.

Uzyskane rezultaty umożliwiły jakościową i ilościową analizę odpowiedzi komórek fitoplanktonu bałtyckiego na zmiany warunków środowiskowych, manifestowaną zmianami kompozycji i stężenia pigmentów. Stanowią one poważny wkład do rozwoju optycznych metod badania ekosystemu Morza Bałtyckiego, w szczególności dynamicznie się rozwijających metod satelitarnych. Odgrywają również istotną rolę w rozwoju biooptycznych modeli opisujących procesy związane z propagacją i utylizacją energii światła słonecznego.

Przeprowadzone na podstawie zgromadzonych danych analizy przestrzennych i sezonowych zmian zachodzących w środowisku Morza Bałtyckiego w analizowanych 20 latach, jednoznacznie wykazały istotnie statystycznie i zróżnicowane regionalnie trendy. Wskazuje to na ogromny potencjał opracowanych metod w kontekście klimatycznym, co jednak wymaga dłuższych niż dwudziestoletnie perspektyw badawczych. Tym niemniej już można zauważyć wyraźne różnice między raportowanymi w literaturze globalnymi zmianami zachodzącymi w środowisku morskim a lokalnymi trendami obserwowanymi w różnych rejonach Morza Bałtyckiego.

Literatura

- Babin M., Sadoudi N., Lazzara L., Gostan J., Partensky F., Bricaud A., Veldhuis M., Morel A., Falkowski P.G., 1996, *Photoacclimation strategy of Prochlorococcus sp. and consequences on large scale variations of photosynthetic parameters*, Ocean Optics 13, Proc. SPIE, 2963, 314-319, doi:10.1117/12.266462
- Beaugrand G., 2004, *The North Sea regime shift: Evidence, causes, mechanisms and consequences*, Prog. Oceanogr. 60, 2, 245-262, doi:10.1016/j.pocean.2004.02.018
- Berner T., Dubinsky Z., Wyman K., Falkowski P.G., 1989, *Photoadaptation and the 'package effect' in Dunaliella tertiolecta (Chlorophyceae)*, J. Phycol., 25 (1), 70-78, doi:10.1111/j.0022-3646.1989.00070.x
- Bode A., Estévez M.G., Varela M., Vilar J.A., 2015, *Annual trend patterns of phytoplankton species abundance belie homogeneous taxonomical group responses to climate in the NE Atlantic upwelling*, Mar. Environ. Res. 110, 81-91, doi:10.1016/j.marenvres.2015.07.017
- Boyce D.G., Dowd M., Lewis M.R., Worm B., 2014, *Estimating global chlorophyll changes over the past century*, Prog. Oceanogr. 122, 163-173, doi:10.1016/j.pocean.2014.01.004
- Brierley A.S., Kingsford M.J., 2009, *Impacts of Climate Change Review on Marine Organisms and Ecosystems*, Curr. Biol. 19, R602-R614, doi:10.1016/j.cub.2009.05.046
- Britton G., Liaen-Jensen S., Pfander H.P., 2003, *Handbook of Carotenoids*, Birkhäuser Springer Verlag, 670 pp.
- Dera J., 1995, *Underwater irradiance as a factor affecting primary production*, Diss. and monogr. IO PAS, 7, Sopot, 110 pp.
- Dera J., Woźniak B., 2010, *Solar radiation in the Baltic Sea*, Oceanologia, 52(4), 533-582
- Falkowski P.G., LaRoche J., 1991, *Acclimation to spectral irradiance in algae*, J. Phycol., 27, 8-14, doi:10.1111/j.0022-3646.1991.00008.x
- Fleming-Lehtinen V., Laamanen M., Kuosa H., Hahti H., Olsonen R., 2008, *Long-term development of inorganic nutrients and chlorophyll a in the Northern Baltic Sea area*, AMBIO: J. Hum. Environ. 37(2), 86-92, doi:10.1579/0044-7447(2008)37[86:LDOINA]2.0.CO;2
- Gasiûnaite Z.R., Cardoso A.C., Heiskanen A.-S., Henriksen P., Kauppila P., Olenina I., Pilkaityté R., Purina I., Razinkovas A., Sagert S., Schunert H., Wasmund N., 2005, *Seasonality of coastal phytoplankton in the Baltic Sea: Influence of salinity and eutrophication*, Estuar. Coast. Shelf Sci., 65, 235-252, doi:10.1016/j.ecss.2005.05.018
- Goela P.C., Danchenko S., Icely J.D., Lubian L.M., Cristina S., Newton A., 2014, *Using CHEMTAX to evaluate seasonal and interannual dynamics of the phytoplankton community off the South-west coast of Portugal*, Estuar. Coast. Shelf Sci. 151, 112-123, doi:10.1016/j.ecss.2014.10.001
- Griffiths J.R., Lehtinen S., Suikkanen S., Winder M., 2020, *Limited evidence for common interannual trends in Baltic Sea summer phytoplankton biomass*, PLoS ONE 15(4), e0231690, doi:10.1371/journal.pone.0231690
- Harvey E.T., Kratzer S., Andersson A., 2015, *Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea*, AMBIO, 44(Suppl. 3), S392-S401, doi:10.1007/s13280-015-0658-4
- HELCOM, 1997, *Manual for marine monitoring in the COMBINE programme of HELCOM, Part C. Programme for monitoring of eutrophication and its effects, Annex C-6, Phytoplankton species composition, abundance and biomass*, Balt. Mar. Environ. Prot. Commiss., Helsinki, C6-1-C6-8, 22 pp.

- HELCOM, 2009, *Eutrophication in the Baltic Sea - An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region*, In Proceedings of the Baltic Sea Environment Proceedings 115B, New York, NY
- HELCOM, 2018a, *State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011–2016*, In Baltic Sea Environment Proceedings 155, Available online at: <https://helcom.fi/media/publications/BSEP155.pdf>
- HELCOM, 2018b, *Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea*, Baltic Sea Environment Proceedings No. 153. Available online at: <https://www.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP153.pdf>
- Henriksen P., Riemann B., Kaas H., Sorensen H.M., Sorensen H.L., 2002, *Effects of nutrient-limitation and irradiance on marine phytoplankton pigments*, J. Plankton Res., 24 (9), 835-858, doi:10.1093/plankt/24.9.835
- Hjerne O., Hajdu S., Larsson U., Downing A.S., Winder M., 2019, *Climate Driven Changes in Timing, Composition and Magnitude of the Baltic Sea Phytoplankton Spring Bloom*, Front. Mar. Sci. 6, 482, doi:10.3389/fmars.2019.00482
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kowalczyk P., Olszewski J., Darecki M., Kaczmarek S., 2005, *Empirical relationships between coloured dissolved organic matter (CDOM) absorption and apparent optical properties in Baltic Sea waters*, Int. J. Remote Sens., 26(2), 345-370, doi:10.1080/01431160410001720270
- Liaaen-Jensen S., 1978, *Marine carotenoids*, In: Scheer P.J. (red), Marine natural products, chemical and biological perspectives, Vol II, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1-73
- Llewellyn C.A., Mantoura R.F.C., 1996, *Pigment biomarkers and particulate carbon in the upper water column compared to the ocean interior of the northeastern Atlantic*, Deep-Sea Res. 8, 1165–1184, doi:10.1016/0967-0637(96)00043-X
- Lysiak-Pastuszek E., Drgas N., Piatkowska Z., 2004, *Eutrophication in the Polish Coastal Zone: The Past, Present Status and Future Scenarios*, Mar. Pollut. Bull. 49(3), 186-95, doi:10.1016/j.marpolbul.2004.02.007
- Majchrowski R., 2001, *Wpływ oświetlenia na charakterystyki pochłaniania światła przez fitoplankton w morzu*, Stud. i rozpr., Pom. Akad. Pedagog., 1, Słupsk, 131 pp. (in polish)
- Majchrowski R., Woźniak B., Dera J., Ostrowska M., Ficek D., Kaczmarek S., 1998, *Relations between phytoplankton pigment composition and spectral irradiance distribution in the ocean*, Program & Abstracts, Ocean Optics XIV, Kailua-Kona, Hawaii, 60
- Majchrowski R., Stoń-Egiert J., Ostrowska M., Woźniak B., Ficek D., Lednicka B., Dera J., 2007, *Remote sensing of vertical phytoplankton pigment distributions in the Baltic: new mathematical expressions. Part 2: Accessory pigment distribution*, Oceanologia 49(4), 491-511
- Martin-Garcia G.M., 2019, *Oceanic impact on European climate changes during the quaternary*, Geosciences. 9, 119, doi:10.3390/geosciences9030119
- Mazur-Marzec H., Sutryk K., Kobos J., Hebel A., Hohlfeld N., Błaszczuk A., Toruńska A., Kaczkowska M.J., Lysiak-Pastuszek E., Kraśniewski W., Jesser I., 2013, *Occurrence of cyanobacteria and cyanotoxin in the Southern Baltic Proper. Filamentous cyanobacteria versus singlecelled picocyanobacteria*, Hydrobiologia, 701, 235–252
- Millie D.F., Schofield O.M., Kirkpatrick G.J., Johnsen G., Evens T.J., 2002, *Using absorbance and fluorescence spectra to discriminate microalgae*, Eur. J. Phycol. 37, 313–322
- Miranda-Alvarez C., González-Silvera A., Santamaria-del-Angel E., López-Calderón J., Godínez V.M., Sánchez-Velasco L., Hernández-Walls R., 2020, *Phytoplankton pigments and community structure in the northeastern tropical pacific using HPLC-CHEMTAX analysis*, J. Oceanogr., 76, 91–108, doi:10.1007/s10872-019-00528-3
- Olofsson M., Suikkanen S., Kobos J., Wasmund N., Karlson B., 2020, *Basin-specific changes in filamentous cyanobacteria community composition across four decades in the Baltic Sea*, Harmful Algae, 91, 101685, doi:10.1016/j.hal.2019.101685
- Pliński M., Mazur-Marzec H., Józwiak T., Kobos J., 2007, *The potential causes of cyanobacterial blooms in Baltic Sea estuaries*, Oceanol. Hydrobiol. Stud. 36, 1, 125-137, doi:10.2478/v10009-007-0001-x
- Prieur L., Sathyendranath S., 1981, *An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials*, Limnol. Oceanogr., 26(4), 671-689, doi:10.4319/lo.1981.26.4.0671
- Richardson A.J., Schoeman D.S., 2004, *Climate impact on plankton ecosystems in the northeast Atlantic*, Science 305, 5690, 1609–1612, doi:10.1126/science.1100958
- Rousseaux C.S., Gregg W.W., 2015, *Recent decadal trends in global phytoplankton composition*, Glob. Biogeochemical Cycles 29, 1674–1688, doi:10.1002/2015GB005139
- Roy S., Llewellyn C.A., Egeland E.S., Johnsen G., 2011, *Phytoplankton pigments, characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography*, Cambridge University Press, 845 pp.
- Savchuk O.P., 2018, *Large-scale nutrient dynamics in the Baltic Sea, 1970–2016*, Front. Mar. Sci. 5, 95, doi:10.3389/fmars.2018.00095
- Scheer H., 1991, *Structure and occurrence of chlorophylls*, In: Scheer H (red), Chlorophylls, CRC Press, Boca Raton, Florida, 3-30
- Schlüter L., Behl B., Striebel M., Stibor H., 2016, *Comparing microscopic counts and pigment analyses in 46 phytoplankton communities from lakes of different trophic state*, Freshwater Biol. 61, 1627–1639, doi:10.1111/fwb.12803
- Simis S.G.H., Ylöstalo P., Kallio K.Y., Spilling K., Kutser T., 2017, *Contrasting seasonality in optical-biogeochemical properties of the Baltic Sea*, PLoS One, 12(4), e0173357, doi:10.1371/journal.pone.0173357
- Staehr P.A., Henriksen P., Markager S., 2002, *Photoacclimation of four marine phytoplankton species to irradiance and nutrient availability*, Mar. Ecol. Prog. Ser., 238, 47-59, doi:10.3354/meps238047

- Stoń J., Kosakowska A., 2002, *Phytoplankton pigments designation – an application of RP-HPLC in qualitative and quantitative analysis*, J. Appl. Phycol., 14, 205-210, doi:10.1023/A:1019928411436
- Stoń-Egiert J., Kosakowska A., 2005, *RP-HPLC determination of phytoplankton pigments – comparison of calibration results for two columns*, Mar. Biol., 147, 251-260, doi:10.1007/s00227-004-1551-z
- Stoń-Egiert J., Łotocka M., Ostrowska M., Kosakowska A., 2010, *The influence of biotic factors on phytoplankton pigment composition and resources in Baltic ecosystems: new analytical results*, Oceanologia, 52 (1), 101–125, doi:10.5697/oc.52-1.101
- Stoń-Egiert J., Majchrowski R., Darecki M., Kosakowska A., Ostrowska M., 2012, *Influence of underwater light fields on pigment characteristics in the Baltic Sea - results of statistical analysis*, Oceanologia, 54(1), 7-27, doi:10.5697/oc.54-1.007
- Sukenik A., Bennett J., Mortain-Bertrand A., Falkowski P.G., 1990, *Adaptation of photosynthetic apparatus to irradiance in Dunaliella tertiolecta*, Plant Physiol., 92, 891-898, doi:10.1104/pp.92.4.891
- Tate R.D., Benkendorff K., Ab Lah R., Kelaher B.P., 2017, *Ocean acidification and warming impacts the nutritional properties of the predatory whelk, Dicathais orbita*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 493, 7-13, doi:10.1016/j.jembe.2017.03.006
- Toole C.M., Allnut F.C.T., 2003, *Red, Cryptomonad and Glaucocystophyte Algal Phycobiliproteins*, In: Larkum A.W.D., Douglas S.E., Raven J.A. (eds), Photosynthesis in Algae, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 305-334
- Wasmund N., Uhlig S., 2003, *Phytoplankton in large river plumes in the Baltic Sea*, ICES J. Mar. Sci., 56, 23-32, doi:10.1006/jmsc.1999.0615
- Wernberg T., Russell B.D., Moore P.J., Ling S.D., Smale D.A., Campbell A., Coleman M.A., Steinberg P.D., Kendrick G.A., Connell S.D., 2011, *Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 400, 1–2, 30, 7-16, doi:10.1016/j.jembe.2011.02.021
- Willen T., 1962, *Studies on the phytoplankton of some lakes connected with or recently isolated from the Baltic*, Oikos 13, 169-199, doi:10.2307/3565084
- Woźniak B., Dera J., 2007, *Light Absorption in Sea Water*, Springer, New York, 454 pp.
- Woźniak B., Dera J., Ficek D., Majchrowski R., Ostrowska M., Kaczmarek S., 2003, *Modelling light and photosynthesis in the marine environment*, Oceanologia, 45(1), 171-245
- Wright S.W., van der Enden R.L., 2000, *Phytoplankton community structure and stocks in the East Antarctic marginal ice zone (BROKE survey, January–March 1996) determined by CHEMTAX analysis of HPLC pigment signatures.*, Deep Sea Res. II 47(12-13), 2363-2400, doi:10.1016/S0967-0645(00)00029-1
- Zdun A., Stoń-Egiert J., Ficek D., Ostrowska M., 2021, *Seasonal and Spatial Changes of Primary Production in the Baltic Sea (Europe) Based on in situ Measurements in the Period of 1993–2018*, Front. Mar. Sci. 7, 604532, doi:10.3389/fmars.2020.604532

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

Jestem absolwentką oceanografii fizycznej na Wydziale Biologii, Geografii i Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego. W roku 1997 obroniłam pracę magisterską pt.: *‘Bilans radiacyjny Południowego Bałtyku’* i uzyskałam tytuł magistra oceanografii. Promotorem mojej pracy był profesor (wtedy dr hab.) Bogdan Woźniak z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie. Współpraca z Profesorem rozwinęła moje zainteresowania badaniami morza. W latach 1997-1998 byłam słuchaczką I roku dziennego Środowiskowego Studium Doktoranckiego przy Wydziale Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego i jednocześnie stypendystką Instytutu Oceanologii PAN. Moim mentorem podczas studiów doktoranckich był prof. Bogdan Woźniak. Współpraca z profesorem wytyczyła kierunek mojego rozwoju naukowego i została sformalizowana w roku 1998, kiedy podjęłam pracę w kierowanej przez niego Pracowni Biofizyki Morza Instytutu Oceanologii PAN. Jestem członkiem tej pracowni do chwili obecnej analizując wraz z kolegami zagadnienia związane z badaniem i modelowaniem ekosystemów morskich zasilanych w energię poprzez fotosyntezę. W początkowym etapie mojej pracy w Instytucie

byłam zatrudniona na etacie technicznym na stanowisku oceanograf. Aktywnie włączyłam się w realizację badań prowadzonych przez kolegów z Pracowni. Brałam udział w wielu rejsach badawczych w różne rejony Morza Bałtyckiego, w czasie których mierzone były biooptyczne charakterystyki zawiesin morskich, między innymi: współczynniki absorpcji światła przez fitoplankton, cząstki zawieszane, detrytus i substancje rozpuszczone CDOM, stężenie chlorofilu a, wielkość produkcji pierwotnej oraz szereg innych parametrów opisujących procesy związane z dystrybucją energii świetlnej w wodzie morskiej. W tym czasie opanowałam nowoczesne techniki pomiarowe i zdobyłam doświadczenie w organizowaniu kampanii pomiarowych oraz prowadzeniem prac laboratoryjnych.

W roku 1998 ukończyłam Kurs Wysokosprawnej Chromatografii Cieczowej organizowany przez Katedrę Chemii Analizy Chromatograficznej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej i Komisję Analizy Chromatograficznej Komitetu Chemii Analitycznej PAN oraz uczestniczyłam w seminariach chromatograficznych prowadzonych przez firmę PERLAN Technologies. Zdobytą wiedzę i umiejętności wykorzystałam do adaptacji metod chromatograficznych do pomiaru charakterystyk fitoplanktonu występującego w Morzu Bałtyckim i wdrożenia ich do rutynowej praktyki pomiarowej w Zakładzie Fizyki IO PAN. Dzięki temu zestaw mierzonych przez nasz zespół parametrów został rozszerzony o niezwykle cenną informację dotyczącą pigmentów i ich stężeń w komórkach fitoplanktonu, co w przyszłości zostało wykorzystane w modelowaniu właściwości optycznych wody morskiej i procesów związanych z dystrybucją i utylizacją oświetlenia w morzu.

Już w początkowym okresie mojego zatrudnienia, oprócz zagadnień metodyczno-pomiarowych, rozwijałam współpracę z naukowcami z innych instytucji. Współpraca nawiązana z naukowcami z Czech: dr Michałem Kobliżkiem z Institute of Microbiology and Institute of Landscape Ecology CAS oraz dr Michałem Masin z Institute of Physical Biology w Czechach dotycząca badań nad różnymi komponentami fitocenozy bałtyckich zaowocowała dwoma publikacjami w renomowanych czasopismach naukowych przedstawiających wyniki wspólnych badań dziennego cyklu i zmian sezonowych bakterioplanktonu w wodach Bałtyku (załącznik 6, pkt. II, 4.10, 4.13).

Badania charakterystyk biofizycznych fitoplanktonu prowadziłam głównie w akwenach Bałtyckich, w miarę możliwości rozszerzając je o eksploracje innych środowisk morskich. W latach 2000 i 2001 brałam udział w rejsach arktycznych na statku r/v Oceania w rejonie Spitsbergenu oraz w 2003 roku w dwumiesięcznym rejsie na statku r/v „Akademik Ioffe” na Grenlandię (Kaliningrad-Copenhagen-Kangerlussuaq). Uczestnictwo w tych rejsach było elementem współpracy z Instytutem Oceanografii Scripps Uniwersytetu Kalifornijskiego (Scripps Institute of Oceanography, University of California, San Diego, CA, USA). Prowadzone wówczas badania dotyczyły: (1) rozwoju biooptycznych algorytmów w rejonach polarnych oraz wykorzystania ich do zdalnej oceny warunków środowiskowych w północnym rejonie Atlantyku, (publikacje: załącznik 6, pkt. II, 4.5, 4.6) oraz (2) określenia właściwości fluorescencyjnych górnej warstwy wód w rejonach polarnych w oparciu o pomiary lidarowe i spektrofotometryczne (publikacja: załącznik 6, pkt. II, 4.8).

W ramach wieloletniej naukowej współpracy prof. Woźniaka i pracowników Zakładu Fizyki Morza z Instytutem Oceanografii Scripps Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego w 2006 roku odbyłam staż naukowy w tej jednostce. Moim opiekunem naukowym był prof.

Dariusz Stramski, a realizowana tematyka dotyczyła pomiarów i analizy wartości współczynników absorpcji światła przez fitoplankton i cząstki detrytusu w próbkach pochodzących z różnych rejonów Oceanu Atlantyckiego. To doświadczenie zaowocowało dogłębnym poznaniem przeze mnie najnowocześniejszych technik pomiarowych współczynników absorpcji światła przez zawiesiny morskie.

Mój dalszy rozwój naukowy w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie przebiegał wielotorowo. Nadal prowadziłam prace związane z poborem próbek w rejonach Morza Bałtyckiego i rejonach polarnych oraz przeprowadzaniem oznaczeń wartości różnych parametrów biogeochemicznych fitoplanktonu, głównie związanych z charakterystyką właściwości absorpcyjnych fitoplanktonu, w tym stężeń barwników chlorofilowych i karotenoidowych metodą HPLC. Ponadto byłam zaangażowana w realizację szeregu projektów badawczych, krajowych i międzynarodowych (patrz załącznik 6, pkt. II, 9). Projekty te dotyczyły zagadnień związanych między innymi z wykorzystaniem satelitarnych metod badania środowiska morskiego do obserwacji i analiz procesów zachodzących w toni morskiej (projekty BIOCOLOUR, DESAMBEM czy w latach późniejszych projekt SatBałtyk) i badań zdolności adaptacyjnych fitoplanktonu do warunków stresowych poprzez produkcję sideroforów (załącznik 6, pkt. II, 9.3).

W latach 2004-2006 byłam głównym wykonawcą projektu promotorskiego realizowanego w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie pod kierownictwem doc. dr hab. Alicji Kosakowskiej. Prowadziłam badania dotyczące różnych aspektów występowania chlorofili i karotenoidów w środowisku Morza Bałtyckiego, które zaowocowały powstaniem rozprawy doktorskiej zatytułowanej *‘Główne środowiskowe uwarunkowania składu i zasobów pigmentów fitoplanktonu w akwenach bałtyckich’*. Praca, której obrona odbyła się w 2008 roku, powstała pod kierunkiem doc. dr hab. Alicji Kosakowskiej i miała charakter interdyscyplinarny. Została wyróżniona przez Komisję d/s Przewodów Doktorskich Instytutu Oceanologii PAN.

W roku 2008, po otrzymaniu stopnia doktora, kontynuowałam pracę w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fizyki Morza.

W kolejnych latach rozwijałam moje zainteresowania badawcze dotyczące charakterystyk biooptycznych cząstek zawieszonych, w tym głównie fitoplanktonu w różnych ekosystemach wodnych. Analizowałam właściwości i występowanie różnych składników absorbujących w wodach oceanicznych, morskich oraz śródlądowych. W latach 2008 – 2011, dzięki współpracy z naukowcami Akademii Pomorskiej w Słupsku, między innymi prof. Dariuszem Fickiem i dr Romanem Majchrowskim, brałam udział w badaniach empirycznych i modelowaniu adaptacji naturalnych populacji fitoplanktonu do warunków występujących w środowisku morskim (jako główny wykonawca w grantie N N304 2752 35, załącznik 6, pkt. II, 9.6) oraz badaniu charakterystyk biooptycznych jezior w środkowej części Pomorza (jako główny wykonawca w grantie N N306 0664 34, załącznik 6, pkt. II, 9.5). Kontynuowałam też badania właściwości optycznych składników zawieszonych i rozpuszczonych w Morzu Bałtyckim uczestnicząc jako główny wykonawca w projektach związanych z analizami rzeczywistych właściwości optycznych substancji zawieszonych (grant N306 2838 33, załącznik 6, pkt. II, 9.8), spektralnych właściwości absorpcji i fluorescencji rozpuszczonej materii organicznej (grant N306 2942 33, załącznik 6, pkt. II, 9.9) oraz analiz przydatności

fluorescencyjnych metod do badania fitocenoz morskich (grant N306 1391 33, załącznik 6, pkt. II, 9.7). Prace te zaowocowały licznymi wystąpieniami konferencyjnymi (załącznik 6, pkt. II, 7.7, 7.35, 7.36, 7.39, 7.42, 7.43, 7.46, 7.47, 7.48) oraz publikacjami (załącznik 6, pkt. II, 4.16, 4.19, 4.23).

W latach 2010-2015 byłam zaangażowana w realizację projektu 'Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego (*SatBałtyk*)', realizowanego przez Konsorcjum Naukowe SatBałtyk, którego liderem był Instytut Oceanologii PAN, pod kierownictwem prof. dr hab. Bogdana Woźniaka, a w ostatnim roku realizacji pod kierownictwem dr hab. Mirosławy Ostrowskiej. Głównym celem projektu było opracowanie i wdrożenie systemu satelitarnego monitorowania szeregu strukturalnych i funkcjonalnych charakterystyk Morza Bałtyckiego, opisujących między innymi dopływ energii, rozkłady temperatury, stan dynamiczny powierzchni morza, stężenia chlorofilu i innych pigmentów fitoplanktonu, zakwity toksycznych alg, występowanie upwellingów, pojawianie się plam zanieczyszczeń w tym rozlewów ropy czy charakterystyk produkcji pierwotnej materii organicznej. Projekt ten był realizowany przy współpracy zespołów naukowców z Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, Uniwersytetu Gdańskiego, Akademii Pomorskiej w Słupsku i Uniwersytetu Szczecińskiego. W czasie jego realizacji byłam zaangażowana w szereg zagadnień, między innymi w rozwój metodyki pomiaru stężeń dotychczas nie oznaczanych barwników - fikobilin w fitoplanktonie morskim oraz wprowadzenie tych pomiarów do rutynowo wykonywanych badań w Instytucie Oceanologii. Wyniki tych badań zostały opublikowane (załącznik 6, pkt. I, O3, O4, pkt. II, 4.17, 4.18, 4.24, 4.25, 4.28, 4.31) oraz przedstawiane na konferencjach krajowych i zagranicznych (załącznik 6, pkt. II, 7.3–7.14, 7.33–7.47, 7.52, 7.53, 7.56, 7.62). Poszerzyły one znacząco wiedzę o składnikach wody morskiej absorbujących promieniowanie słoneczne oraz pozwoliły scharakteryzować pod względem właściwości biooptycznych szczepy cyjanobakterii tworzące potencjalnie toksyczne zakwity w wodach Bałtyku. Podjęta przez mnie tematyka dotycząca badań różnych cech tej grupy fitoplanktonu wpisywała się w bieżący nurt badań światowych. Motywacją do badań innych szczepów cyjanobakterii był obserwowany w ciągu ostatnich dziesięcioleci wzrost produktywności akwenów przybrzeżnych Morza Bałtyckiego oraz występowanie rozległych zakwitów sinic prawie każdego lata. W czasie realizacji projektu SatBałtyk brałam także aktywny udział w pracach mających na celu rozszerzenie zestawu wyznaczanych w Zakładzie Fizyki Morza parametrów. Rozwinęłam również techniki pomiarowe dotyczące rozmiarów cząstek zawieszonych w wodach wykonywanych metodą konduktometryczną i przeprowadziłam tą metodą szereg pomiarów. Wykonane przez mnie analizy zostały wykorzystane w badaniach dotyczących rozpraszania światła wstecz przez cząstki zawieszony w morzu oraz badaniach rzeczywistych właściwości optycznych materii zawieszony (załącznik 6, pkt. II, 4.23, 4.33, 7.47, 7.58).

W głównym nurcie moich zainteresowań znajdowały się zagadnienia dotyczące zgłębiania mechanizmów adaptacyjnych komórek glonów w wyniku narażenia na działanie czynników stresowych. W roku 2017 byłam kierownikiem i głównym wykonawcą projektu (DEC-2017/01/X/ST10/00168) którego celem było zbadanie i opisanie głównych uwarunkowań procesów fotoadaptacyjnych jednokomórkowego wiciowca należącego do klasy bałtyckich kryptofitów *Rhodomonas* sp. oraz określenie zmian jakościowych i ilościowych barwników fotosyntetycznych i fotoochronnych zachodzących pod wpływem

działania światła białego o wysokiej intensywności, oraz światła w zielonym, czerwonym i niebieskim zakresie widmowym. Przeprowadziłam szereg eksperymentów obejmujących inkubacje komórek glonów w różnych, wcześniej zdefiniowanych warunkach i analizę zachodzących zmian. Wyniki tych prac zostały szczegółowo przedstawione w rocznych raportach sprawozdawczych Zakładu Fizyki Morza IOPAN a zdobyte informacje wykorzystałam w moich dalszych badaniach.

Podsumowując, prowadzone przeze mnie badania skupiały się wokół zagadnień związanych z wykorzystaniem właściwości biogeochemicznych cząstek zawieszin morskich i różnych parametrów środowiskowych do oceny stanu środowiska Morza Bałtyckiego. Nie ograniczałam się jednak jedynie do Bałtyku. Jako wykonawca, brałam udział w projektach norweskich współfinansowanych przez NCN. Poszerzałam swoje zainteresowania naukowe

o tematy związane z zastosowaniem różnych typów pomiarów: in situ, radarowych i satelitarnych do analiz materii zawieszanej i strumieni węgla cząsteczkowego i rozpuszczonego w wodach przybrzeżnych Morza Barentsa (projekt NORDFLUX, załącznik 6, pkt. II, 9.12, 7.49, 7.50), oraz badania zooplanktonu w Arktyce (projekt 'ecoPlast', załącznik 6, pkt. II, 9.15, 4.27, 7.55, 7.66) co znacząco rozszerzyło moje horyzonty naukowe.

Obecnie uczestniczę w realizacji międzynarodowego projektu finansowanego przez Unię Europejską w programie Horyzont 2020 'Fighting and adapting to climate change, 'Arctic biodiversity change and its consequences: Assessing, monitoring and predicting the effects of ecosystem tipping cascades on marine ecosystem services and dependent human systems', ECOTIP, oraz projektu norweskiego 'RAW – Retreat And Wither" – What is the influence of glaciers recession from tidewater to land-based on the marine biological production and biogeochemistry in the Arctic?'.
'

Moje zainteresowania naukowe związane były i są głównie z szeroko rozumianym celem realizowanym w Pracowni Biofizyki Morza, a mianowicie z badaniem i modelowaniem ekosystemów morskich zasilanych w energię poprzez fotosyntezę. W pracy badawczej zajmowałam się nie tylko analizą związków absorbujących: chlorofilu, karotenoidów oraz fikobilin i ich wpływem na procesy absorpcji światła przez fitoplankton, ale również procesami rozpraszania światła przez cząstki zawieszane w wodzie oraz wykorzystaniem zaabsorbowanej energii w procesie produkcji pierwotnej. Prowadzone w ramach badań statutowych przeze mnie zadania badawcze trzykrotnie uznane zostały za największe osiągnięcie naszego zespołu. Mój udział w rozwijaniu tej tematyki zaowocował powstaniem szeregu artykułów naukowych. Jestem autorem i współautorem łącznie 40 publikacji naukowych, z czego 6 stanowi osiągnięcie habilitacyjne (załącznik 6, pkt. I.3, II.4). Osiągnięte wyniki badań i ich analizy prezentowałam również na 18 konferencjach krajowych i 49 zagranicznych. Będąc autorem i współautorem prezentowałam łącznie 20 referatów i 16 posterów na konferencjach krajowych, oraz 19 referatów i 51 posterów na konferencjach międzynarodowych (załącznik 6, pkt. II.7). Łącznie brałam udział w 19 projektach badawczych realizowanych we współpracy z naukowcami z wielu instytucji, finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki, fundusze europejskie w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa, fundusze europejskie w ramach programu Horyzont 2020 oraz ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2014-2021 w ramach programu GRIEG. Obecnie uczestniczę w realizacji dwóch projektów (załącznik 6, pkt. II.9).

Oprócz działalności badawczo-naukowej i publikacyjnej byłam również zaangażowana w działalność krajowych organizacji naukowych. W latach 2015-2018, jako przedstawiciel adiunktów, byłam członkiem Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk. Od 2016 roku jestem członkiem Zespołu zadaniowego ds. Opinii i Rozwoju Fizyki Morza Sekcji Fizyki Morza KBM PAN. Jestem również członkiem Zespołu ds. Wdrażania Europejskiej Karty Naukowca i Zasad Kodeksu Postępowania przy Rekrutacji Pracowników Naukowych – od 2017, oraz członkiem Komisji Nauk Kosmicznych przy Gdańskim Oddziale PAN od 2020 (załącznik 6, pkt. 10). W roku 2016 miałam przyjemność być członkiem Jury w konkursie ‘Professor Mário Ruivo Prize 2016’, organizowanym przez EurOcean - European Centre for Information on Marine Science and Technology przy współpracy z World Ocean Network, dedykowanym dla uczniów w wieku 11-16 lat w temacie „Your Ocean, Your Future” (załącznik 6, pkt. II.16).

Dodatkowo, czynnie uczestniczyłam w zadaniach edukacyjno-szkoleniowych mających na celu rozwój kadry naukowej Instytutu. W 2019 sprawowałam opiekę nad studentami Uniwersytetu Gdańskiego i Uniwersytetu Szczecińskiego biorącymi udział rejsach badawczych. W latach 2020 i 2021 prowadziłam zajęcia dydaktyczno-praktyczne dla studentów I roku Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej przy Centrum Studiów Polarnych w Uniwersytecie Śląskim (MSSD) na statku r/v Oceania z zakresu podstaw oceanografii fizycznej. W roku 2021, w czasie 9-dniowego rejsu na statku r/v Oceania, prowadziłam wykłady, ćwiczenia, prezentacje i warsztaty dla międzynarodowej grupy studentów w ramach Eurofleets Floating University - Use bio-optical parameters as convenient tool to study marine biogeochemical processes (pkt. 6.1).

Posiadam również osiągnięcia w sferze organizacyjnej i popularyzującej naukę. Jako członek Komitetów Organizacyjnych uczestniczyłam w przygotowaniach 11 konferencji krajowych i zagranicznych (załącznik 6, pkt. II.8). Przygotowałam i przeprowadziłam również szereg wykładów, prezentacji, zajęć popularno-naukowych, ćwiczeń i warsztatów przeznaczonych dla dzieci, młodzieży i studentów (pkt. 6.1) oraz brałam udział w upowszechnianiu i popularyzacji nauki na piknikach i festiwalach nauki (pkt. 6.3), adresowanych do odbiorców w różnym wieku i z różnych pozanaukowych środowisk.

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

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne:

W okresie mojego zatrudnienia w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, przygotowałam i przeprowadziłam szereg wykładów, prezentacji, zajęć popularno-naukowych, ćwiczeń i warsztatów przeznaczonych dla dzieci, młodzieży i studentów, zestawionych poniżej:

- wykład dla studentów IV roku geografii Uniwersytetu Gdańskiego, Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii, pt.: „Pigmenty fitoplanktonu i czynniki

środowiskowe warunkujące ich skład i zasoby w akwenach bałtyckich”, 18 lutego 2008

- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klas III pt.: „Nasz Bałtyk” w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 06 czerwca 2013
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klas II i V pt.: „Morze Bałtyckie bez tajemnic” w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 04 kwietnia 2014
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klas III pt.: „'Nieziemskie' ziemskie miejsca, czyli zjawiskowe miejsca na świecie. Czy słyszałeś o nich?” w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 25 czerwca 2015
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klas I w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, wykład popularno-naukowy z cyklu ‘Co chłupie w bałtyckiej zupie’ przeprowadzony w ramach "Morskiej Edukacji Ekologicznej" dofinansowanej przez WFOŚiGW w Gdańsku, 13 maja 2016
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klas I, IV, V, VI w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 6 wykładów popularno-naukowych z cyklu ‘Co chłupie w bałtyckiej zupie’, pt.: „Bioróżnorodność Morza Bałtyckiego” i „Morze Bałtyckie bez tajemnic” przeprowadzonych w ramach "Morskiej Edukacji Ekologicznej" dofinansowanej przez WFOŚiGW w Gdańsku, 31 maja 2016
- zajęcia dydaktyczne dla przedszkolaków w Przedszkolu Niepublicznym w Oliwie „Pod Kasztanami” w Gdańsku, 2 prezentacje popularno-naukowe ‘Co chłupie w bałtyckiej zupie’, pt. „Morze Bałtyckie bez tajemnic”, przeprowadzone w ramach "Morskiej Edukacji Ekologicznej" dofinansowanej przez WFOŚiGW w Gdańsku, 13 lipca 2016
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klasy II w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 1 wykład popularno-naukowy pt.: „Zjawiskowe miejsca na świecie, czyli plaże świata i nie tylko...”, 20 czerwca 2017
- zajęcia dydaktyczne dla uczniów klasy VI w Szkole Podstawowej nr 17 w Gdańsku, 1 wykład popularno-naukowy pt.: „Oceany świata”, 19 grudnia.2017
- zajęcia dydaktyczno-praktyczne dla studentów I roku Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej przy Centrum Studiów Polarnych w Uniwersytecie Śląskim (MŚSD), 10 godzin ćwiczeń na statku r/v Oceania, 03 września 2020
- wykłady, ćwiczenia, prezentacje i warsztaty dla studentów przeprowadzone na statku badawczym r/v ‘Oceania’ w ramach Eurofleets Floating University - Use bio-optical parameters as convenient tool to study marine biogeochemical processes. Wykłady pt.: ”Light in the sea – biophysics”, “Methodology of measurements biogeochemical parameters of suspended particles and dissolved material in seawater”. Ćwiczenia pt.: “Spectrophotometric laboratory – measuring chlorophyll a concentration with spectrophotometric method by Lorenzen, 1967”, “Spectrophotometric laboratory – measuring absorption coefficient by chromophoric dissolved organic matter”, ogółem 80 godzin, 31 maja - 8 czerwca 2021

- zajęcia dydaktyczno-praktyczne dla studentów I roku Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej przy Centrum Studiów Polarnych w Uniwersytecie Śląskim (MSSD), ćwiczenia terenowe z zakresu podstaw oceanografii fizycznej na statku r/v Oceania, 10 godzin, 10 listopada 2021

6.2. Osiągnięcia organizacyjne:

Brałam udział w organizowaniu wymienionych poniżej konferencji krajowych i międzynarodowych, jako:

- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: III Sympozjum Konsorcjum Naukowego SatBałtyk, „Badania satelitarne mórz i akwenów śródlądowych w aspekcie zmian klimatu Ziemi”, 08-11 maja 2013, Ryn, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: V Sympozjum Konsorcjum Naukowego SatBałtyk, „Rozwój Systemu Operacyjnego SatBałtyk”, 6-10 października 2014, Dwór Pomorski, Barwice, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: Krajowa Konferencja Naukowa „BAŁTYK 2015 – stan, trendy zmian oraz współczesne metody monitorowania środowiska Morza Bałtyckiego”, 14-16 października 2015, IO PAN, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: VII Sympozjum Konsorcjum Naukowego SatBałtyk, „System SatBałtyk – naukowy i praktyczny potencjał zdalnych metod badań środowiska Morza Bałtyckiego”, 23-25 listopada 2015, Słupsk-Strzelinko, Polska, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego I Konferencji Naukowej Polskich Badaczy Morza, 19-20 października 2017, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego i Sekretarz Naukowy konferencji: „Kosmos a morze - na styku horyzontów”, 08 marca 2018, IO PAN, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: „Baltic Sea & (outer) space. New perspective for our region”, 20 września 2018, IO PAN, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego i Sekretarz Naukowy konferencji: „Remote sensing. Challenges in gather and sharing data”, 19 września 2019, IO PAN, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: „Baltic Sea. Reflection of the stars:”, 11 marca 2021, IOPAN, Sopot, Polska, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: International Ocean Data Conference 2022 “The Data We Need for the Ocean We Want”, 14-16 lutego 2022, Sopot, Polska
- Członek Komitetu Organizacyjnego konferencji: “Safe Planet & Space: Letter from Utopia”, 23 marca, 2023, Sopot, Polska

6.3. Osiągnięcia w zakresie upowszechniania i popularyzacji nauki:

W ramach aktywności około-naukowej związanej z upowszechnianiem i popularyzacją nauki brałam czynny udział w wymienionych poniżej piknikach i festiwalach naukowych:

- IX Bałtycki Festiwal Nauki, 29 maja 2011 w Gdyni. Prezentowałam założenia projektu SatBałtyk oraz brałam udział w pokazie aparatury pomiarowej wykorzystywanej podczas rejsów badawczych na statku Oceania
- Sopocki Piknik Naukowy, 26 maja 2012 w Sopocie. Prezentowałam projekt SatBałtyk na stoisku zatytułowanym ‘ SatBałtyk – zrozumieć kolor morza’
- Sopocki Piknik Naukowy, 25 maja 2013 w Sopocie. Prezentowałam zagadnienia związane z tytułem stanowiska ‘Słońce i morze’
- XIII Bałtycki Festiwal Nauki, 19-24 maja 2015 w Sopocie. Prezentowałam zagadnienia związane z tematem przewodnim ‘Bałtyk „on-line’
- XX Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 7 maja 2016, Stadion Narodowy w Warszawie. Promowałam osiągnięcia naukowe Zakładu Fizyki Morza IO PAN w powiązaniu z szeroko rozumianym hasłem pikniku ‘Zdrowie’ w pokazach: „Zdrowy człowiek = zdrowe morze”, „Co chlupie w bałtyckiej zupie?”, „Różnorodność plaż i jej mieszkańcy”
- IX Sopocki Dzień Nauki, 4 czerwca 2016 w Sopocie. Przedstawałam różnorodność zawieszin morskich w pokazach zatytułowanych „Co chlupie w bałtyckiej zupie?”
- XXI Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 3 czerwca 2017, Stadion Narodowy w Warszawie. Promowałam osiągnięcia naukowe Zakładu Fizyki Morza IO PAN w powiązaniu z szeroko rozumianym hasłem pikniku ‘Ziemia’ w pokazach: „Ziemia planeta oceanów”, „Plaże świata”, „Naturalne oczyszczanie Bałtyku”
- XXII Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik , 09 czerwca 2018, Stadion Narodowy w Warszawie. Promowałam osiągnięcia naukowe Zakładu Fizyki Morza IO PAN w powiązaniu z szeroko rozumianym hasłem pikniku ‘Ruch’ w pokazach: „Morze - wędrówka kolorów”, „Ruch wody w morzach i oceanach”
- XXII Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 11 maja 2019, Stadion Narodowy w Warszawie. Promowałam osiągnięcia naukowe Zakładu Fizyki Morza IO PAN w powiązaniu z szeroko rozumianym hasłem pikniku ‘Maszyny i My’ w pokazach: „Zobaczyć morze – maszyna czy oko?” i „T(r)opienie wody”
- XXV Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, 21 maja 2022, Centrum Nauki Kopernik w Warszawie , Promowałam osiągnięcia naukowe Zakładu Fizyki Morza IO PAN w powiązaniu z szeroko rozumianym hasłem pikniku ‘Woda’ w pokazach: „Czy woda w Bałtyku to tylko woda?”, „Tajemnice koloru wody”

Brałam również udział w realizacji zadań z zakresu upowszechniania i popularyzacji działań naukowych w ramach Działalności Upowszechniającej Naukę (DUN) finansowanej ze środków Polskiej Akademii Nauk:

- w terminie styczeń - listopad 2017, *Upowszechnienie wiedzy o stanie ekosystemu Morza Bałtyckiego i nowoczesnych metodach jego monitorowania*, umowa nr. PAN/200/BUPN/2017

- w terminie styczeń – listopad 2018, *Stan i funkcjonowanie środowiska Morza Bałtyckiego w świetle nowoczesnych metod jego monitorowania*, umowa nr PAN/116/BUPN/2018
- w terminie styczeń – listopad 2021, *Powszechne udostępnianie informacji o ekosystemie Morza Bałtyckiego*”, umowa nr PAN.BFB.S.BUPN.210.022.2021
- w terminie styczeń – listopad 2022, *Obserwacja zmienności środowiska Morza Bałtyckiego na podstawie naukowo zweryfikowanych informacji z Systemu SatBałtyk*, umowa nr PAN.BFB.S.BUPN.423.022.2022.

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

Otrzymane nagrody:

- 2006 - Nagroda Dyrektora Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie przyznana za osiągnięcia w zakresie publikowania wyników naukowych w roku 2005
- 2008 - wyróżnienie pracy doktorskiej „Główne środowiskowe uwarunkowania składu i zasobów pigmentów fitoplanktonu w akwenach bałtyckich”
- 2013 - Medal z okazji 60-lecia Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk za dotychczasową wieloletnią i sumienną pracę, przyznany przez Dyrektora Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk,
- 2016 - Nagroda Dyrektora Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie przyznana za osiągnięcia w zakresie publikowania wyników naukowych w roku 2016

Sprawowanie opieki nad studentami biorącymi udział w rejsach badawczych:

- Natalia Szwarz, Uniwersytet Gdański, 06 – 15.11.2019
- Zuzanna Krzynówek, Uniwersytet Szczeciński, 06 – 15.11.2019

Udział w rejsach badawczych:

- | | |
|----------------------|--|
| 1999 – 2023 | udział w rejsach badawczych Zakładu Fizyki Morza IOPAN na r/v Oceania w różnych rejonach Morza Bałtyckiego, kierownik rejsu badawczego w listopadzie 2018r |
| 21.06 - 21.07.2000 - | udział w rejsie arktycznym na r/v Oceania – AREX 2000, w dwóch etapach: Tromso - Longyearbyen i Longyearbyen - Longyearbyen |
| 10.06 - 20.08.2001 - | udział w rejsie arktycznym na r/v Oceania - AREX 2001 |
| 23.06 - 11.07.2003 | udział w rejsie badawczym na statku r/v "Akademik Ioffe” na Grenlandię - Kaliningrad-Copenhagen-Kangerlussuaq |

2016 – 2023 udział w jednodniowych rejsach badawczych na Sonda2 w rejonie Zatoki Gdańskiej

24.07 - 03.08.2023 - udział w etapie fiordu Hornsund w czasie rejsu arktycznego na r/v Oceania - AREX 2023

.....
(podpis wnioskodawcy)