

Autoreferat
przedstawiający opis dorobku oraz osiągnięć naukowych i dydaktycznych
na stopień naukowy doktora habilitowanego

dziedzina: Nauki o Ziemi

dyscyplina: Oceanologia

dr Katarzyna Smolarz

Uniwersytet Gdański
Sierpień, Gdynia 2018

1. Imię i Nazwisko: **Katarzyna Smolarz**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2012 – 2013: Studia podyplomowe z zakresu zarządzania projektami europejskimi, program Ster dla B+R w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, Akademia Morska, Gdynia.

2007: Kurs pt. Receptor mediated toxicity organizowany przez Akademię Medyczną Karolinska w Sztokholmie, Szwecja.

2005: Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii (22 kwiecień 2005), Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Geografii i Oceanografii, Instytut Oceanografii, praca doktorska pt. „Zmiany nowotworowe typu neoplazja w populacji *Macoma balthica* (L.) (*Bivalvia*) z Zatoki Gdańskiej”, promotor prof. dr hab. Maciej Wołowicz.

2004: Kurs pt. The Role of Flow Cytometry in Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning, stacja zoologiczna Anton Dohrn, Neapol, Włochy.

1998: Magister oceanografii (23 czerwiec 1998 r.), Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Geografii i Oceanologii, Instytut Oceanografii, praca magisterska pt. „Fauna bentosowa i flora okrzemkowa w okolicy ujścia kolektora ścieków oczyszczalni Swarzewo na Zatoce Gdańskiej”, promotor prof. dr hab. Maciej Wołowicz.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

30.09.2005 – obecnie, adiunkt, Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii, Zakład Funkcjonowania Ekosystemów Morskich.

05.2011 – 05.2013, wykładowca akademicki (30%) na Uniwersytecie w Södertörn (ang. *Södertörn University*), Szwecja.

04.2009 – 04.2011, asystent naukowy w ramach dwuletniego stażu podoktorskiego w Centrum Studiów Bałtyckich i Eschodnioeuropejskich (ang. *Centre of Baltic and East European Studies*), Szwecja.

09.2007 – 09.2008, stypendium podoktorskie (program Kolumb Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej), Laboratorium Ekotoksykologii Morza, Uniwersytet w Södertörn, Szwecja.

1998 – 2004 Środowiskowe Studium Doktoranckie, Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Geografii i Oceanografii.

4, Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.).

Na osiągnięcie naukowe składa się cykl sześciu publikacji naukowych opublikowanych w latach 2006 – 2018 w czasopismach o międzynarodowym zasięgu objętych bazą JCI. Przedstawione prace są spójne tematycznie i poświęcone zmianom patologicznym występującym u małży morskich, analizie ich przyczyn oraz ocenie ich potencjału bioindykacyjnego. **Sumaryczny IF** (z roku wydania publikacji) publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe **wynosi 15.562, a sumaryczna ilość punktów MNSW: 209.**

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Zmiany patologiczne u małży morskich i ich potencjał bioindykacyjny

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy). Podkreśleniem zaznaczeni są studenci biorący udział w prowadzonych badaniach.

1. **Smolarz K.**, Wołowicz M., Stachnik M., 2006, First record of the occurrence of "gill disease" in *Mytilus edulis trossulus* from the Gulf of Gdańsk (Baltic Sea, Poland). Journal of Invertebrate Pathology, 93:207 – 209. IF₂₀₀₆ 1.235, punktacja MNSW 32

Mój wkład w powstanie pracy polegał na pozyskaniu funduszy, sformułowaniu hipotez badawczych, zaplanowaniu i realizacji prac laboratoryjnych i terenowych, wykonaniu analizy porównawczej rodzaju i częstotliwości zmian w budowie tkanki skrzeli, analizie uzyskanych wyników, ich interpretacji, redakcji manuskryptu oraz pełnieniu obowiązków autora korespondencyjnego. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 80 %.

2. **Smolarz K.**, Berger A., 2009, Long-term toxicity of hexabromocyclododecane (HBCDD) to the benthic clam *Macoma balthica* (L.) from the Baltic Sea, Aquatic Toxicology 95: 239 – 247. IF₂₀₀₉ 3.5, punktacja MNSW 32

Mój wkład w powstanie pracy polegał na sformułowaniu hipotez badawczych i celu, zaplanowaniu doświadczeń laboratoryjnych i prac terenowych, realizacji prac terenowych, przeprowadzeniu doświadczeń, modyfikacji i opracowaniu metodyk badawczych, wykonaniu testów genotoksyczności i cytotoksyczności, analizie i interpretacji uzyskanych wyników, redakcji manuskryptu oraz pełnieniu obowiązków autora korespondencyjnego. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 90 %.

3. **Smolarz K.**, Bradtke K., 2011, Bioindicative potential of shell abnormalities occurring in the clam *Macoma balthica* (L.) from the Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin, 62: 1421 – 1426. IF₂₀₁₁ 2.503, punktacja MNSW 40

Mój wkład w powstanie pracy polegał na pozyskaniu funduszy na badania, sformułowaniu hipotez badawczych i określeniu jej celu, zaplanowaniu prac terenowych, realizacji prac laboratoryjnych i terenowych, przeprowadzeniu analiz morfologicznych muszli

małży, przeprowadzeniu testów genotoksyczności i cytotoksyczności, analizie wyników, przeprowadzeniu testów statystycznych, redakcji manuskryptu oraz pełnieniu obowiązków autora korespondencyjnego. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 90%.

4. Dublinowska M., **Smolarz K.**, Zabrzańska S., Larsson J., Czerniawska N., 2016, Intersexuality in the blue mussel *Mytilus edulis* complex (Mytilidae) from the Baltic Sea and the Danish Strait. American Malacological Bulletin 34: 28 – 39. IF₂₀₁₆ 1.049, punktacja MNSW 20

Mój wkład w powstanie pracy polegał na współudziale w pozyskaniu funduszy, określeniu hipotez badawczych i celu, zaplanowaniu doświadczeń, realizacji części prac terenowych, przeprowadzeniu analiz na bazie rozmazów, nadzorowaniu pracy studentów, analizie części uzyskanych wyników, współredagowaniu manuskryptu oraz przygotowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 30 %.

5. **Smolarz K.**, Hallmann A., Zabrzańska S., Pietrasik A., 2017, Elevated gonadal atresia as biomarker of endocrine disruptors: field and experimental studies using *Mytilus trossulus* (L.) and 17-alpha ethinylestradiol (EE2), Marine Pollution Bulletin 120: 58 – 67. IF₂₀₁₇ 3.146, punktacja MNSW 40

Mój wkład w powstanie pracy polegał na współudziale w pozyskaniu funduszy, sformułowaniu hipotez badawczych i określeniu celu, zaplanowaniu doświadczeń, realizacji części prac laboratoryjnych i terenowych, nadzorowaniu eksperymentu prowadzonego przez studentów, przeprowadzeniu analiz histologicznych, analizie części uzyskanych wyników, redakcji manuskryptu oraz przygotowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 60 %.

6. Larsson J., **Smolarz K.**, Świeżak J., Turower M., Czerniawska N., Grahn M., 2018, Multi biomarker analysis of pollution effect on resident populations of blue mussels, Aquatic Toxicology 198:240 – 256. IF₂₀₁₇ 4.129, punktacja MNSW 45

Mój wkład w powstanie pracy polegał na współudziale w pozyskaniu funduszy oraz opracowaniu koncepcji badań, realizacji części prac laboratoryjnych i terenowych, przeprowadzeniu oględzin histologicznych, nadzorowaniu analiz prowadzonych przez studentów (zawartość lipidów, indeks kondycji, test mikrojąder), analizie części uzyskanych wyników, interpretacji uzyskanych danych, współredagowaniu manuskryptu oraz pełnieniu obowiązków autora korespondencyjnego. Mój udział w tworzeniu tej pracy szacuję na 40 %.

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cele i najważniejsze wyniki prac stanowiących osiągnięcie naukowe są następujące:

- 1) Analiza przypadków zmian martwiczych w skrzelach *M. edulis trossulus* z Zatoki Gdańskiej [praca 1],

- 2) Diagnoza zmian patologicznych u *Limecola balthica* oraz określenie przydatności stwierdzonych anomalii do oceny stanu środowiska morskiego [praca 2 i 3],
- 3) Poznanie zmian anatomopatologicznych w gonadach omułka *M. edulis* complex wraz z oceną ich zastosowania w monitoringu Bałtyku [praca 4 i 5],
- 4) Ocena ryzyka ekologicznego wybranych obszarów Bałtyku znajdujących się pod wpływem punktowych źródeł zanieczyszczeń [praca 6].

Zdrowie jest jednym z najważniejszych czynników warunkujących harmonijny rozwój każdego organizmu oraz zdolności adaptacyjne do zmiennych warunków środowiska. Zarówno zdrowie jak i choroba to stany dynamiczne, kształtowane w sposób ciągły w wyniku oddziaływania na organizm szeroko rozumianego stresu. Zaburzenia struktury organizmu mogą mieć podłoże genetyczne, rozwojowe, immunologiczne czy też środowiskowe związane z ekspozycją na czynniki zewnętrzne (Cotran i in. 1999). Homeostaza, rozumiana jako zdolność utrzymania stałego środowiska wewnętrznego niezależnie od zmieniających się warunków środowiskowych jest warunkiem zachowania zdrowia i dobrej kondycji. W stanie homeostazy, procesy fizyczne i chemiczne niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu są utrzymane w zakresie nie powodującym zaburzeń. Za zaburzenia homeostazy odpowiedzialne są bodźce o sile działania przewyższającej próg prawidłowej reakcji organizmu. Konsekwencją ich działania są zmiany w strukturze i funkcjonowaniu organizmów żywych, których stopień zależy od rodzaju i siły bodźca, jego natężenia, mechanizmu działania, czasu trwania ekspozycji oraz wyjściowego stanu zdrowia (Cotran i in. 1999).

Z uwagi na nasilającą się antropopresję, związki pochodzenia antropogenicznego, będące wynikiem różnych aspektów działalności człowieka, należą do powszechnych i groźnych stresogenów w środowisku morskim. Każdego dnia do mórz i oceanów dostają się ogromne ilości znanych i nieznanymi pod kątem toksykologicznym związków chemicznych. Ze względu na szereg specyficznych właściwości oraz stopień szkodliwości, na największą uwagę zasługują związki należące do grupy trwałych zanieczyszczeń organicznych obejmującej między innymi; polichlorowane bifenyle (PCBs), węglowodory aromatyczne (WWA), związki fosforoorganiczne, metale i dioksyny. Związki te mają lipofilny charakter i są bardzo słabo rozpuszczalne w wodzie ($\log K_{ow} > 3.5$), natomiast z łatwością adsorbują się na powierzchni drobnoziarnistych zawiesin i komórkach fitoplanktonu. Zanieczyszczenia te mogą być akumulowane na poziomie organizmu, magnifikowane w sieci troficznej i/lub deponowane w komórkach jajowych, co stanowi pionowy i poziomy transfer zanieczyszczeń (Ahlf i Heise 2005). Wiele z zanieczyszczeń wykazuje działanie teratogenne, mutagenne i kancerogenne.

Inne oddziałują na układ nerwowy, powodując zaburzenia w transporcie jonów i w przewodzeniu bodźców, zmieniają aktywność systemu immunologicznego, zaburzają wzrost, aktywność ruchową, metabolizm i reprodukcję. Zanieczyszczenia te mogą także oddziaływać w sposób bardzo subtelny, zaburzając gospodarkę hormonalną, przez co wpływają na funkcjonowanie układu rozrodczego i nerwowego oraz osłabiają układ odpornościowy organizmów. Z tego względu zanieczyszczenia dostające się do środowiska morskiego stanowią rosnące zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów morskich, oraz mają negatywny wpływ na naturalne zasoby mórz i oceanów zarówno na poziomie lokalnym jak i globalnie (Ahlf i Heise 2005).

Synergistyczne interakcje pomiędzy różnego rodzaju czynnikami abiotycznymi, w tym zanieczyszczeniami, uważa się za przyczyny wielu zmian patologicznych w organizmach morskich. Charakterystyka rejonów silnie zanieczyszczonych nie może się jedynie sprowadzać do analiz fizykochemicznych prób wody czy osadów pobranych ze środowiska, gdyż nie dostarczają one pełnej informacji o tym, jaki wpływ badane zanieczyszczenia mają na organizmy żywe. W ocenie ryzyka środowiskowego, ze względu na występujące interakcje typu synergistycznego bądź też antagonistycznego, kluczowe znaczenie ma ocena całkowitego *efektu biologicznego* jaki na dany organizm wywiera jego środowisko życia, a nie tylko poznanie efektu biologicznego poszczególnych zanieczyszczeń (Gray, 1992). Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu dobrze opracowanych i odpowiednio dobranych biomarkerów, które dając informacje o stanie fizjologicznym danego organizmu pozwalają przewidzieć efekty zanieczyszczeń na wyższych od organizmu poziomach organizacji biologicznej, a przez to oszacować tzw. efekty populacyjne i ekosystemowe. Ze względu na szereg interakcji pomiędzy poszczególnymi komponentami sieci troficznych, destabilizacja pojedynczego jej ogniwa może się przełożyć na kaskadę zdarzeń wpływających na cały ekosystem, co jest szczególnie istotne w rejonach o niskiej bioróżnorodności i krótkich łańcuchach troficznych takich jak Morze Bałtyckie. Na poziomie populacji zwiększona śmiertelność i zaburzenia reprodukcji powodują zaburzenia liczebności populacji i daleko idące zmiany w jej dynamice.

Istnieje kilka powodów, dla których w badaniach ekotoksykologicznych środowiska morskiego preferowane są organizmy niższe. Bezkęgowce stanowią główny komponent ekosystemów, który można znaleźć na wszystkich poziomach troficznych. Populacje bezkręgowców są zazwyczaj bardzo liczne i w związku z tym zbiór próbek jest łatwy i nie narusza znacząco struktury ani dynamiki populacji. Ze względu na liczebność i biomasę, jedną z kluczowych grup fauny morskiej Bałtyku jest makrozoobentos, w którym pod względem biomasy często dominuje malakofauna (m.in. *Mytilus edulis trossulus*, *Limecola (Macoma)*

balthica, *Mya arenaria*, *Cerastoderma glaucum*). Małże są szczególnie istotnym elementem sieci troficznej, a ze względu na nieruchliwy tryb życia, długowieczność i zdolność kumulacji zanieczyszczeń w tkankach są idealnym bioindykatorem stanu zdrowia środowiska (Brooks i in. 2009). Jednakże, aby uzyskać wiarygodniejszą interpretację odpowiedzi biomarkerowej tych organizmów, niezbędne jest kompleksowe poznanie fizjologii, patologii i biochemii małży (Depledge i Fossi, 1994), czemu miały służyć prowadzone przez mnie badania. Stąd też moje zainteresowania badawcze to przede wszystkim ekotoksykologia i patologia stresu, a prace badawcze prowadzę na kilku gatunkach małży bałtyckich próbując wyjaśnić toksyczny wpływ środowiska na te organizmy oraz etiologię niektórych zmian patologicznych.

Zanieczyszczenia środowiskowe dostają się do organizmów żywych dwiema podstawowymi drogami, przez układ pokarmowy wraz z pokarmem oraz w czasie oddychania (podczas respiracji) przez skrzela. W badaniach toksykologicznych mięczaków bazujących na aktywności proliferacyjnej komórek, oprócz hemolimy często wykorzystywane są skrzela, gdyż podziały komórkowe w obrębie tej tkanki zachodzą relatywnie często, a sama tkanka charakteryzuje się wysoką sprawnością mechanizmów naprawczych i przystosowawczych. Powyższe, a także łatwość poboru tkanki skrzeli nawet w przypadku organizmów o niewielkich rozmiarach jakimi są małże bałtyckie, zaważyło na tym, że to właśnie komórki skrzeli wykorzystałam w swoich badaniach jako „systemy wskaźnikowe”. W osiągnięciu habilitacyjnym, jako jedna z pierwszych na świecie oraz pierwsza w akwenie Morza Bałtyckiego, wykorzystałam testy mikrojąder (ang. *micronucleus test*, MN) oraz NOR (ang. *nuclear organiser regions*), wykonane na komórkach skrzeli małży w oparciu o zoptymalizowaną metodykę. Pozwoliło to dokonać oceny uszkodzeń chromosomów oraz aktywności genów rybosomalnych u badanych bezkręgowców i zastosować te parametry jako miary cyto- i genotoksyczności, zarówno pojedynczych zanieczyszczeń jak i w ocenie ryzyka środowiskowego w rejonach będących pod silną presją antropogeniczną. Z sukcesem reprodukcyjnym związane jest „być albo nie być” nie tylko lokalnych populacji, ale także gatunku, dlatego też w osiągnięciu habilitacyjnym badałam zmiany zachodzące w tkance gonad małży. Nieprawidłowości w determinacji i różnicowaniu płci, zaburzenia organogenezy gonad i gametogenezy mogą być konsekwencją ekspozycji na związki chemiczne wpływające na funkcje endokrynne małży morskich, co częściowo potwierdziłam w swoich badaniach. Kompleksowe zastosowanie testów komórkowych, histologii i fizjologii pozwoliło mi określić wpływ zanieczyszczeń na małże z wybranych rejonów Morza Bałtyckiego oraz wypracować metody oceny ryzyka zagrożeń antropogenicznych na przykładzie lokalnych ekosystemów.

Dlatego uważam, że moje badania mają istotny wkład koncepcyjny i metodologiczny w rozwój ekotoksykologii, patologii, bioindykacji i ekologii stresu.

Cel 1: Analiza przypadków zmian martwiczych w skrzelach *M. edulis trossulus* z Zatoki Gdańskiej

Moja fascynacja anatomopatologią małży rozpoczęła się już w trakcie doktoratu, gdy prowadziłam badania dotyczące zmian o charakterze neoplazji w skrzelach rogowca bałtyckiego *L. balthica*. W późniejszych badaniach skupiłam się na zdefiniowaniu innych nieprawidłowości występujących w skrzelach, niezwiązanych z rozrostem nowotworowym. Prowadzone badania zaowocowały pierwszą publikacją wchodzącą w skład mojego osiągnięcia naukowego [praca 1], w której po raz pierwszy zdiagnozowano i opisano występowanie choroby skrzeli (GD, ang. *gill disease*) w populacji omułka *M. edulis trossulus* z Zatoki Gdańskiej. Chorobę cechuje występowanie szeregu zmian anatomopatologicznych w obrębie tkanki respiracyjnej, takich jak obecność żółtawych plamek na płatach skrzelowych, postępująca erozja skrzeli prowadząca do lokalnie występujących zmian typu nekrotycznego, a w zaawansowanych stadiach - martwica (Lauckner 1983). Z uwagi na degenerację układu oddechowego i problemy respiracyjne związane z utrudnioną wymianą gazową, zmiany te prowadzą do osłabienia i masowej śmiertelności małży. W populacji omułka, GD może wystąpić u ponad 80% osobników powodując śmiertelność nawet do 40% populacji (Lauckner 1983). W przeprowadzonych w pracy [1] badaniach średnia częstotliwość erozji skrzeli u omułka z Zatoki Gdańskiej została oszacowana na 16%. Literatura przedmiotu podaje, że do wystąpienia GD u małży przyczyniają się pierwotniaki pasożytnicze (m.in. *Trichodina* sp., *Perkinsus* sp., *Thanatostrea* sp. i *Martelia* sp. (Lauckner, 1983)), jednak za główną przyczynę choroby uważane są zakażenia wirusowe (Elston, 1997). Wiele czynników środowiskowych może pośrednio stymulować pojawienie się choroby, a są to głównie bodźce o potencjale obniżającym odporność immunologiczną organizmu, w tym pasożyty oraz zanieczyszczenia. Niekorzystne warunki bytowania pojawiają się okresowo również w rejonie Zatoki Gdańskiej, gdzie w populacji omułka zdiagnozowano występowanie GD. W rejonie Mechelinek, w okresie wiosennym dochodzi do zakwitów glonów, czego konsekwencją jest okresowy spadek pH wody naddennej związany z rozkładem beztlenowym, a także okresowe pojawianie się hipoksji a nawet anoksji oraz siarkowodoru w osadach (Janas i in. 2004, Sokołowski i in. 2004). Bytowanie w tak niekorzystnych warunkach środowiska skutkuje długotrwałym stresem osmotycznym i oksydacyjnym, co prowadzi do osłabienia układu odpornościowego i propagacji czynników chorobotwórczych. Taki właśnie mechanizm powstawania zmian

anatomopatologicznych typu GD w skrzelach populacji omułka przedstawiono w pracy [1] składającej się na osiągnięcie habilitacyjne. Z uwagi na wysoką śmiertelność związaną z erozją skrzeli, wystąpienie tej choroby jest szczególnie niepożądane w przypadku gatunków hodowlanych, ale także tych, które mają kluczowe znaczenie ekologiczne w ekosystemach o niskiej bioróżnorodności takich jak Morze Bałtyckie.

Cel 2: Diagnoza zmian patologicznych u *L. balthica* oraz określenie przydatności stwierdzonych anomalii do oceny stanu środowiska morskiego

Do środowiska morskiego dostają się ogromne ilości zanieczyszczeń, w tym także takie, których oddziaływanie na ekosystemy morskie nie jest jeszcze poznane. Grupą związków coraz częściej i na coraz większą skalę wykrywanych są inhibitory spalania, do których należą bromowane bifenyle. Są to organiczne związki chemiczne dodawane do materiałów użytku domowego i przemysłowego. Heksacyklobromododekan (HBCDD) wraz z diastereoizomerami (alfa-, beta- i gamma) są masowo stosowane w powłokach zwiększających ognioodporność sprzętu codziennego użytku takich jak płyty i materiały termoizolacyjne, foteliki samochodowe dla dzieci, sprzęt elektroniczny czy tapicerka meblowa. Związek ten strukturalnie przypomina inne trwałe zanieczyszczenia organiczne (Davis et al., 2004, Veltman i in. 2005), a jego obecność odnotowano w wodzie, w zawieszynie, osadach i organizmach morskich (Zegers i in. 2005, Lundstedt-Enkel et al., 2006). Brak danych farmakokinetycznych opisujących metabolizm HBCDD sprawił, że w chwili podjęcia badań niewiele było wiadomo o jego toksyczności w środowisku morskim. Z tych powodów, ale także z uwagi na fakt, że w czasie, gdy rozpoczęto badania, istniały sprzeczne dane co do cyto- i genotoksyczności związku, jako jedna z pierwszych podjęłam się oceny stopnia toksyczności środowiskowo istotnych stężeń HBCDD na morskie małże. Badania prowadzono z wykorzystaniem małży *L. balthica* (poprzednia nazwa *Macoma balthica*), a ich wyniki zawarte są w pracy [2] osiągnięcia habilitacyjnego. W publikacji tej po raz pierwszy w ocenie cyto- i genotoksyczności HBCDD wykorzystałam zmiany morfologiczne ultrastruktur jądrowych, test mikrojąder (MN) oraz aktywność stref NOR odzwierciedlające różne mechanizmy regulacji aktywności jądrowej w komórkach, Test mikrojąder jest wykorzystywany w badaniach genotoksyczności środowiska, gdyż bazuje na dzielących się komórkach, w których na skutek uszkodzeń chromosomów pod wpływem działania klastogenu lub związku genotoksycznego, powstają tzw. mikrojądra. Analiza aktywności stref organizatorów jąderkowych (test NOR) umożliwia ocenę aktywności proliferacyjnej i metabolicznej komórek w fazie spoczynkowej (G0) cyklu komórkowego, co w rezultacie pozwoliło ocenić cytotoxycznosc HBCDD. Dzięki opracowanej metodyce

pozyskiwania i przygotowywania komórek z tkanki respiracyjnej małży, wszystkie ww. analizy przeprowadzono na komórkach skrzeli, a nie jak dotychczas na hemolimfie. To umożliwiło prowadzenie analiz nawet na niewielkich organizmach, u których nie jest możliwe pobranie odpowiedniej ilości hemolimfy. Toksyczność HBCDD oceniano podczas 50-dniowego eksperymentu ekspozycyjnego, w którym małże eksponowano na 0, 100 i 250 $\mu\text{g dm}^{-3}$ HBCDD, w trzech powtórzeniach każdy. Z uwagi na lipofilny charakter związku oraz na jego tendencję do adsorpcji na zawieszynie, a także w celu jego szybkiej asymilacji przez organizmy modelowe, na kilka dni przed eksperymentem, używając jako nośnika acetonu, HBCDD zaszczerpiono do kolonii martwych glonów planktonowych. Małże do badań (15 organizmów) pobierano w odstępach 10-dniowych. Podczas eksperymentu wykazano, że ekspozycja na HBCDD skutkuje zmienną w czasie i niezależną od stężenia związku indukcją nieprawidłowości, zarówno na poziomie jąder komórkowych jak i jąder (toksyczność obu testowanych dawek była porównywalna). Wyższą frekwencję komórek martwych oraz takich, które charakteryzowały się nieprawidłowościami na poziomie jądrowym, obserwowano po 10 dniach trwania eksperymentu. Następnie częstotliwość ich występowania malała do końca trwania eksperymentu. Dodatkowo, w pracy wykazano istnienie korelacji pomiędzy ilością nieprawidłowych jąder komórkowych a ilością martwych komórek, co sugeruje obumieranie części komórek o nieprawidłowej budowie. Test NOR wykazał największą ilość interfazowych NOR po 20-u dniach (w stężeniu 250 $\mu\text{g dm}^{-3}$) oraz po 30-u dniach (w stężeniu 100 $\mu\text{g dm}^{-3}$) od rozpoczęcia eksperymentu (analizy GLM i korelacja Spearmana, $p < 0,05$). W badaniach jako pierwsza wykazałam, że ekspozycja małży na HBCDD skutkuje indukcją MN i zmianami struktur jądrowych, co odzwierciedla toksyczny charakter związku. Będący konsekwencją ekspozycji na HBCDD wzrost liczby NOR z jednej strony wskazuje na nieprawidłowe funkcjonowanie genów kodujących rRNA, z drugiej zaś, poprzez wzmożoną aktywność proliferacyjną w obrębie badanej tkanki, może odzwierciedlać odbudowę jej struktur.

Morze Bałtyckie już w końcu ubiegłego wieku zdefiniowane zostało jako jeden z najbardziej zanieczyszczonych akwenów świata (Johansson i Dahlberg 1999). Dużą rolę w procesie zanieczyszczania Bałtyku odgrywają punktowe źródła zanieczyszczeń, a rodzaj odprowadzanych do morza zanieczyszczeń zależy od rodzaju działalności człowieka. W rejonach portowych notowane są zanieczyszczenia o wysokiej toksyczności, takie jak zanieczyszczenia metaliczne i trwałe zanieczyszczenia organiczne (Ahlf i Heise 2005, Schiedek i in. 2006, Turja i in. 2013, 2014). Związki te działają cytotoksycznie, genotoksycznie, mutagennie, rakotwórczo, obniżają stabilność lizosomów, zwiększają peroksydację lipidów oraz stymulują pojawienie się szeregu nieprawidłowości na poziomie szkieletu zewnętrznego

(Schiedek i in. 2006, Turja i in. 2014, Bighiu i in. 2017) oraz [2 i 3]. W kolejnej pracy [3] cyklu habilitacyjnego podjęto próbę oceny wpływu wybranych punktowych źródeł zanieczyszczeń na małże zasiedlające zagrożone rejonu. *L. balthica* pobrano z okolic szwedzkich portów Oxelösund oraz Nynashamn, a także z rejonu referencyjnego położonego w Archipelagu Sztokholmskim, który jest uważany za wolny od bezpośrednich źródeł zanieczyszczeń. Wykonanie badań w dwóch podobnych pod kątem zanieczyszczeń rejonach pozwoliło na zawężenie spektrum czynników odpowiedzialnych za indukcję analizowanych zmian patologicznych do czynników obecnych w obu rejonach oraz spełniło wymogi replikacji eksperymentu. W pracy [3] w ocenie odpowiedzi na zanieczyszczenia wzięto pod uwagę parametry fizjologiczne takie jak stosunek płci, stopień rozwoju gonad, stopień zapasowycenia, czy budowa morfologiczna muszli (deformacje egzozszkieletu). Do parametrów branych pod uwagę przy ocenie stopnia deformacji egzozszkieletu zaliczono występowanie lub brak m.in.: i) otworów i szczelin w zewnętrznej części muszli, ii) silnie zerodowanej, odwapnionej, przezroczystej, cienkiej i kruchej muszli, iii) zniekształcenia w obrębie zamka i więzadła. Obecność wszystkich wyżej wymienionych parametrów klasyfikowała muszlę jako zdeformowaną. Ponownie jako markera aktywności metabolicznej i proliferacyjnej komórek wykorzystano test mikrojąder, oraz przeanalizowano aktywność obszarów jąderkotwórczych w komórkach skrzeli badanych populacji małży. Wykonane badania wykazały morfologiczne, cytologiczne i fizjologiczne zmiany szczególnie dobrze widoczne u zwierząt z obszarów uznanych za zanieczyszczone. Do czynników środowiskowych o potencjale zakłócania procesów prawidłowego formowania egzozszkieletu, a w konsekwencji powstanie nieprawidłowości w jej budowie, należą zwiększone stężenia wapnia, dwutlenek węgla, kwas bursztynowy w płynach ustrojowych, czy warunki beztlenowe (Crenshaw 1980). Proces cienienia skorupy może być również związany z ubytkami węglanu wapnia, na co z kolei ma wpływ szereg czynników zewnętrznych takich jak niskie pH, niedotlenienie, i występowanie siarkowodoru (Putten i in. 2000). W obszarach zanieczyszczonych deformacje wystąpiły u ponad 50% populacji małży, co było także pozytywnie skorelowane z podwyższoną częstotliwością MN. Z uwagi na występowanie zmienności przestrzennej w częstotliwości występowania deformacji egzozszkieletu wydaje się, że obserwowane zmiany są indukowane ekspozycją na niekorzystne warunki środowiskowe na stacjach zanieczyszczonych, natomiast nie występujące na stacji referencyjnej. Do takich czynników zaliczono podwyższone stężenia TBT, Cu i Pb (określone jako wysokie i bardzo wysokie). Dodatkowo, badane populacje małży charakteryzowały się zaburzonym stosunkiem płci z silną dominacją samców, co też może być związane z ekspozycją na związki jak tributyllocyna (TBT) (Santillo i in. 2001, Berto i in. 2007).

Osobniki o muszlach zdeformowanych to przede wszystkim samce o obniżonym BMI (ang. *body mass index*) i podwyższonej ilości MN. Wydaje się, że erozja, przejrzystość egzoszkieletu oraz jego kruchość nie zapewniają małżom odpowiedniej ochrony przed drapieżnikami ani przed uszkodzeniami mechanicznymi. Dlatego też występowanie tego typu zmian można uważać za ważne czynniki determinujące wielkość lokalnych populacji małży. Podsumowując, zarówno dane biologiczne opisujące stopień zaawansowania zmian patologicznych jak i dane chemiczne, dotyczące stężeń wybranych zanieczyszczeń w osadach, umożliwiły zbadanie relacji przyczynowo–skutkowej pomiędzy zanieczyszczeniami a ich biologicznym efektem. Małże z deformacjami zasiedlały rejon silnie zanieczyszczone i charakteryzowały się niższym BMI, wyższą częstotliwością występowania MN i zaburzonym stosunkiem płci z przewagą samców. Dlatego też etiologia zmian egzoszkieletu powiązana została z chroniczną ekspozycją na zanieczyszczenia takie jak TBT. Analiza tego typu zmian w populacjach małży może więc stanowić łatwy i efektywny sposób wstępnego monitoringu środowiska.

Cel 3: Poznanie zmian anatomopatologicznych w gonadach omułka *M. edulis* complex wraz z oceną ich zastosowania w monitoringu Bałtyku

W swoich wcześniejszych badaniach wykazałam, że niektóre populacje małży, m.in. omułka i rogowca bałtyckiego, charakteryzują się zaburzonym stosunkiem płci z wyraźną dominacją samców nad samicami wynoszącą nawet 3:1 [prace 2 i 3]. Dodatkowo, podczas prowadzonych badań, u niewielkiej części *M. edulis trossulus* i *L. balthica* (gatunki normalnie gonochorystyczne), obserwowano współwystępowanie gonad męskich i żeńskich. Według literatury przedmiotu, organizmy interseksualne posiadające gonadę obojnaczą stwierdzano u niektórych małży (*Ruditapes decussatus*, *M. edulis*, *Scrobicularia plana*) po ekspozycji na związki zaburzające gospodarkę hormonalną (ang. *endocrine disruptors*, EDs) (Delgado i Camacho 2002, Chasman 2006). Jednakże, żadna z tych prac nie dotyczyła analizy częstotliwości występowania zmian anatomopatologicznych, w tym interseksualności, w gonadach małży naturalnie zasiedlających Morze Bałtyckie i cieśniny Duńskie. Dlatego w kolejnej pracy zaliczonej do osiągnięcia habilitacyjnego [praca 4] przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na 13 populacjach omułka *Mytilus* spp. z trzech obszarów Morza Bałtyckiego (Zatoka Gdańska, Polska; Tvärminne, Finlandia; Archipelag Trosa, Szwecja) oraz z cieśniny Skagerrak (Kristineberg, Szwecja). W obrębie każdego z ww. obszarów małże pobrano z rejonu portowego, przy oczyszczalni ścieków oraz z rejonu referencyjnego. Analizie poddano rodzaj i częstotliwość zmian anatomopatologicznych prowadzących do zaburzeń reprodukcyjnych takich jak interseksy. Dodatkowo celem prowadzonych badań była analiza

porównawcza różnych populacji omułka pod kątem stosunku płci, stopnia zaawansowania gametogenezy, alokacji energii na reprodukcję (indeks gonadosomatyczny GSI), oraz kondycji (indeks masy ciała BMI). W oparciu o techniki rozmazowe i histologiczne, wykazano i udokumentowano występowanie osobników interseksualnych we wszystkich badanych populacjach. Opisano dwa typy obupłciowości typ 1, w którym współwystępowały wykształcone gonady męskie i żeńskie, i typ 2 charakteryzujący się nieprawidłowymi folikulami żeńskimi zawierającymi oocyty oraz, w części centralnej, spermatocyty. Wykazano także, że osobniki interseksualne charakteryzowały się słabiej rozwiniętymi gonadami (niższe stadium rozwoju gonad), mniejszą alokacją energii na reprodukcję (GSI), a także niższą kondycją (BMI) w porównaniu do prawidłowo wykształconych gonad osobników męskich i żeńskich. Niższy wskaźnik GSI wskazał na redukcję alokacji energii na reprodukcję małży z Archipelagu Trosa (Szwecja) i Tvärminne (Finlandia) w porównaniu z populacją z Zatoki Gdańskiej i rejonu Kristineberg (Szwecja). Osobniki interseksualne stwierdzono we wszystkich analizowanych populacjach, a częstotliwość ich występowania oszacowano na 1.8%. Badania potwierdziły także zmienność przestrzenną występowania tej nieprawidłowości. Tak więc, w obszarze Tvärminne i w Archipelagu Trosa (sześć punktów badawczych) średnia frekwencja osobników interseksualnych nie przekroczyła 1%, sugerując naturalną indukcję zjawiska. Statystycznie istotne różnice przestrzenne w częstotliwości występowania obupłciowości potwierdzono dla dwóch obszarów, Zatoki Gdańskiej oraz zachodniego wybrzeża Szwecji (Kristineberg), gdzie zaobserwowano ich najwyższą frekwencję (do 10 % populacji). Tak wysoki procent osobników obupłciowych sugeruje, że interseksualność może być w tych rejonach indukowana przez czynniki środowiskowe, a w szczególności przez zanieczyszczenia zaburzające gospodarkę hormonalną typu ED (Gagne i in. 2003, Ortiza-Zarragoitia i Cajaraville 2010). EDs są szeroko rozpowszechnione w niemal każdym środowisku wodnym. Zaliczamy do nich zarówno hormony steroidowe jak i syntetyczne związki chemiczne wykorzystywane w przemyśle (polichlorowane bifenylole), rolnictwie (pestycydy) oraz przemyśle farmaceutycznym (17 α -etynyloestradiol, EE2). Organizmy morskie są w ogromnym stopniu narażone na oddziaływanie związków typu EDs, gdyż do środowiska przenikają one na skutek odprowadzania surowych i oczyszczonych ścieków miejskich, przemysłowych i rolniczych. W pracy [4] dowiedziono, że w Zatoce Gdańskiej osobniki interseksualne najczęściej występowały w okolicy oczyszczalni ścieków „Dębogórze” oraz głównego szlaku morskiego (rejon okołoportowy w Gdyni), gdzie wykazano podwyższone stężenia bisfenolu A, 4-tert-oktylofenolu i 4-nonylofenolu w próbkach wody, osadu, i tkankach małży (Staniszewska i in. (2014). W populacjach omułka z zachodniego wybrzeża Szwecji, oprócz dużego udziału

osobników biseksualnych, stwierdzono bardzo wysokie (do 40 %) zapasożycenie omułka przywrami *Prosohrhynchus squamatus*. Romo-Piñera i in. (2003) powiązali pojawienie się zwiększonych liczebności osobników biseksualnych w populacjach gonochorystycznych ze zmianą strategii reprodukcyjnej z gonochoryzmu na hermafrodytyzm w sytuacjach, które mogą znacząco obniżyć sukces reprodukcyjny. Przywry, bytując w gonadach gospodarza, mogą całkowicie wypełniać folikula gonad oraz mechanicznie je uszkadzać, co w konsekwencji może doprowadzić nawet do całkowitej sterylizacji gospodarza (Coustrau i in. 1991, Silva i in. 2002). W tym przypadku można więc założyć, że interseksualizm odzwierciedla strategię organizmu pozwalającą na osiągnięcie, a nawet zwiększenie sukcesu reprodukcyjnego małży znajdujących się pod silną presją otoczenia, przy czym czynnikiem stresogennym może być zarówno zanieczyszczenie, jak i zapasożycenie.

W przypadku bezkręgowców osiadłych, jakimi są małże, wiele z obserwowanych patologii może być, jak wskazano powyżej, wynikiem szkodliwego oddziaływania środowiska na te zwierzęta. W kolejnej pracy [5] dzięki połączeniu badań eksperymentalnych i terenowych, scharakteryzowano zaburzenia w budowie i rozwoju gonad oraz przeanalizowano ich wpływ na zdolności reprodukcyjne omułka z trzech rejonów Zatoki Gdańskiej. Zdiagnozowane zmiany anatomopatologiczne gonad zgrupowano jako: i) zmiany regresywne takie jak zmiany martwicze, atrezja i regresja gonad, ii) zmiany progresywne, takie jak rozrosty nowotworowe oraz iii) interseksualność. Zmienność przestrzenna i zależność od płci została udokumentowana dla zmian regresywnych i progresywnych, przy czym częstotliwość zmian progresywnych była najwyższa u małży pochodzących ze stacji zlokalizowanej w rejonie strefy zanieczyszczonej paliwem uwalniającym się z wraku S/S *Stuttgart*. Sam wrak i jego okolice są rejonem skażonym mazutem, który pokrywa dużą powierzchnię dna morskiego, stanowiąc „bombę” ekologiczną bezpośrednio zagrażającą środowisku. Rogowska (2010) przedstawiła charakterystykę chemiczną wody i osadów tego rejonu, potwierdzając występowanie dużych stężeń związków o potencjale rakotwórczym i mutagennym, w tym obecność węglowodorów aromatycznych, polichlorowanych bifenyli oraz zanieczyszczeń metalicznych. Podczas prowadzonych w tym rejonie badań zaobserwowano u małży występowanie kilku przypadków neoplazji: nowotworu złośliwego gonad (łac. germinoma) oraz białaczki (neoplazja hemocytna). Zmiany regresywne występowały głównie u małży z rejonu sąsiadującego z kolektorem wprowadzającym do Zatoki Gdańskiej oczyszczone wody z oczyszczalni ścieków „Dębogórze”. Dotyczyły one nieprawidłowości związanych z procesem gametogenezy, takich jak przedwczesna atrezja zarówno gonad męskich jak i żeńskich. Atrezja jest procesem normalnie występującym i dobrze widocznym u samic, gdyż oocyty zawierają więcej materiału

zapasowego i cytoplazmy niż spermatocyty. Sam proces polega na autolizie gamet, które nie zostały uwolnione podczas tarła (późne stadia rozwoju gonad). W gonadach męskich atrezja jest procesem nieprawidłowym polegającym na infiltracji dużych, brązowych hemocytów zawierających lizosomy do centralnej części kanalików nasiennych gonady męskiej. Przeprowadzone dodatkowo barwienie Fontana-Mason wykazało obecność w opisanych hemocytach melaniny i innych związków redukcyjnych, sugerowało, że infiltracja zmelanizowanych hemocytów w folikulach gonad męskich może być związana z masową autolizą tkanki rozrodczej, związanej z niekorzystnymi warunkami bytowania. Wyniki te potwierdzono w eksperymencie laboratoryjnym, w którym omułka poddano dwutygodniowej ekspozycji na EE2 w stężeniach 0, 50 i 500 ng dm⁻³. Podczas eksperymentu zaobserwowano postępującą atrezję gonad męskich, potwierdzając, że proces autolizy może być indukowany związkami typu EDs takie jak EE2. Nieprawidłowa spermatogeneza oraz przedwczesna resorpcja gamet prowadzą do zmniejszonej liczby ruchliwych plemników i dojrzałych oocytów, a w konsekwencji do zaburzeń płodności. Zmniejszona płodność wraz ze zwiększoną śmiertelnością skutkują zaburzeniami liczebności populacji, które w rejonach o niskiej bioróżnorodności i krótkich łańcuchach troficznych, mogą niekorzystnie oddziaływać na funkcjonowanie ekosystemu.

Cel 4: Ocena ryzyka ekologicznego wybranych obszarów Bałtyku znajdujących się pod wpływem punktowych źródeł zanieczyszczeń.

Jak wcześniej wykazano, w rejonach portowych oraz w sąsiedztwie głównych szlaków morskich, szczególny wpływ na środowisko mają trwałe zanieczyszczenia organiczne, zanieczyszczenia metaliczne, dioksyny, związki cynoorganiczne i inne silnie toksyczne zanieczyszczenia (Schiedek i in. 2006, Berto i in. 2007). Poważne zagrożenie dla wód płytkich stanowią także zrzuty wód pochodzących z oczyszczalni ścieków. Pomimo rosnącej skuteczności oczyszczania ścieków produkty higieny osobistej, farmaceutyki, hormony czy związki powierzchniowo czynne odprowadzane są tą drogą do środowiska morskiego (Bolong i in. 2009; Rosi-Marshall i Royer 2012). Literatura przedmiotu podaje, że u bezkręgowców morskich eksponowanych na te związki częściej występują zmiany w strukturze materiału genetycznego, destabilizacja lizosomów, zaburzenia endokrynologiczne, zaburzenia proporcji płci czy też osłabienie układu immunologicznego (Akaishi i in. 2007, Gagné i in. 2011) oraz prace [4 i 5]. Co więcej, Larsson i in. (2016) wykazali, że istnieją różnice na poziomie genetycznym pomiędzy lokalnymi populacjami omułka zasiedlającymi geograficznie odległe rejony Bałtyku. Badania te wskazują na istnienie lokalnej presji selekcyjnej, związanej z

ekspozycją na zanieczyszczenia, w wyniku której w populacjach omułka z Morza Bałtyckiego, niezależnie od położenia geograficznego i powiązanych z nim naturalnych różnic parametrów środowiskowych (m.in. temperatura, zasolenie), pojawiają się podobne przystosowania (reakcje plastyczne) oraz adaptacje. Życie w warunkach stresowych wymusza odmienną alokację energii, co jest głównie związane z uruchomieniem mechanizmów detoksyfikacyjnych oraz eliminujących stres oksydacyjny i może skutkować wolniejszym wzrostem i mniejszą alokacją energii w reprodukcję. Tego typu zmiany mogą stanowić czułą miarę stresu zależną od stopnia zanieczyszczenia środowiska, co postanowiłam wykorzystać w pracy [6], której głównym celem była kompleksowa ocena ryzyka ekologicznego wybranych morskich obszarów Bałtyku (Zatoka Gdańska, Askö (Archipelag Trosa) i Tvärminne). Podobnie jak w pracy [4], także tutaj wykorzystano schemat pobierania próbek, w którym, w każdym ww. obszarze Bałtyku, wytypowano rejon okołoportowy, referencyjny i w rejonie ujścia kolektora odprowadzającego oczyszczone ścieki. Do badań, po raz pierwszy na tak szeroką skalę, wykorzystano kilka paneli biomarkerowych takich jak: analizy histologiczne oparte na ocenie prawidłowej struktury tkanek w układzie pokarmowym, rozrodczym, wydalniczym i respiracyjnym, testy cytotoxyczości, genotoksyczości (test MN) oraz wybrane markery fizjologiczne. Omulek (*M. edulis trossulus*) zasiedlający Morze Bałtyckie charakteryzuje się introgresją genomów pochodzących od *M. edulis* i *M. trossulus*. Z uwagi na fakt, że oba siostrzane gatunki omułka (*M. edulis*, *M. trossulus*) różnią się stopniem bioakumulacji i odpowiedzią biologiczną na te same zanieczyszczenia (Bignell i in. 2008, Brooks i in. 2015), podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy stopień introgresji (mierzony za pomocą markera Glu-5') ma wpływ na odpowiedź biologiczną analizowanych populacji omułka. Uzyskane wyniki wskazują, że u małży zasiedlających rejony portowe, częstotliwość występowania anatomopatologii układu pokarmowego była wyższa niż w pozostałych populacjach. Wykazano także, że małże zasiedlające rejony portowe oraz okolice zrzutu wód pooczyszczalnych charakteryzowały się wyższą zawartością lipidów, wyższym wskaźnikiem masy ciała oraz wyższym indeksem gonadosomatycznym w porównaniu do małży z miejsc referencyjnych. Test MN oraz częstsze występowanie zmian anatomopatologicznych, w tym nowotworowych, u małży z Zatoki Gdańskiej wskazały, że wody tego rejonu charakteryzują się większym zanieczyszczeniem w stosunku do pozostałych, co potwierdziły również wyniki analiz chemicznych. Udokumentowano także, że pomimo ekspozycji na czynniki stresogenne skutkujące nieprawidłowymi podziałami komórkowymi, powstawaniem MN oraz wyższą frekwencją zmian anatomopatologicznych, małże z Zatoki Gdańskiej, podobnie jak te z rejonów portowych, charakteryzowały się lepszą ogólną kondycją

wyrażoną jako BMI oraz najwyższą wartością GSI. Te wyniki sugerują najwyższe nakłady energetyczne na reprodukcję przy podobnym współczynniku rozwoju gonad wynoszącym około 3 dla wszystkich badanych populacji oraz dobre warunki pokarmowe pozwalające na alokację energii zarówno na procesy podtrzymujące życie, detoksyfikację, wzrost i przede wszystkim reprodukcję. Przedstawione wyniki badań, poparte zaawansowaną analizą statystyczną, wskazują na związek pomiędzy zanieczyszczeniem środowiska, a częstotliwością występowania histo-cytopatologii oraz na brak zależności pomiędzy tożsamością gatunkową małży a frekwencją zmian histologicznych i wynikiem testu MN. Z drugiej strony, małże z zanieczyszczonych rejonów są w stanie przeżyć bez istotnych zmian w poziomie rezerw energetycznych jakimi są lipidy.

Podsumowanie

Efektom końcowym prac stanowiących osiągnięcie habilitacyjne jest charakterystyka zmian chorobowych o charakterze anatomopatologicznym wybranych tkanek (skrzela i gonady) dwóch gatunków małży bałtyckich *M. edulis* complex i *L. balthica* oraz analiza częstotliwości przestrzennej ich występowania. Wymiernym efektem badań jest ocena toksyczności zarówno pojedynczych związków (eksperymenty ekspozycyjne) jak i efektu addytywnego, a nawet potencjacji mieszanin (analizy środowiskowe) z zastosowaniem następujących biomarkerów na poziomie: i) ultrastruktur komórkowych (mikrojądra, nieprawidłowe jądra komórkowe), ii) aktywności stref jąderkotwórczych, iii) struktur tkankowych, iv) egzoszkieletu oraz v) wybranych parametrów fizjologicznych. Testy te prowadzone były zarówno z wykorzystaniem opracowanych własnych metodyk pozyskiwania i barwienia komórek skrzeli jak i ogólnodostępnych metodyk histologicznych i fizjologicznych. Dodatkowym osiągnięciem było wykazanie związku pomiędzy zanieczyszczeniem środowiska a występowaniem szeregu zmian zarówno w szkielecie zewnętrznym (deformacje muszli), na poziomie gonad (zjawisko interseksualności, atrezja gonad męskich) i ultrastruktur komórkowych (NOR, MN), a także wykazanie ich przydatności w analizie stanu zdrowia zarówno pojedynczych organizmów jak i potencjalnego oddziaływania na funkcjonowanie ekosystemów morskich. Zwieńczeniem jest publikacja [6], w której wykorzystano opisane wcześniej zmiany przy ocenie kondycji geograficznie odległych populacji małży zasiedlających m.in. rejon pod silną presją punktowych źródeł zanieczyszczeń.

Uważam, że ww. prace mają istotny wkład koncepcyjny i metodologiczny w rozwój ekotoksykologii, patologii, bioindykacji i ekologii stresu organizmów morskich oraz umożliwiają przewidywanie skutków chronicznej ekspozycji bezkręgowców morskich na

zróznicowane stresogeny. Publikacje [2] i [3] powstały podczas moich dwóch staży podoktorskich w Szwecji, publikacje [4] i [6] zrealizowałam w ramach projektu finansowanego przez szwedzką Fundację Badań Bałtyku. W pracach [4], [5], i [6] zasadnicza część prac laboratoryjnych została wykonana pod moją opieką przez studentów, których zaangażowanie zostało docenione współautorstwem ww. prac.

Piśmiennictwo

1. Ahlf W., Heise S., 2005, Sediment toxicity assessment. *Journal of Soils and Sediments* 5:16-20.
2. Akaishi F.M., St-Jean S.D., Bishay F., Clarke J., Rabitto I.D.S., de Oliveira Ribeiro C.A., 2007, Immunological responses, histopathological finding and disease resistance of blue mussel (*Mytilus edulis*) exposed to treated and untreated municipal wastewater. *Aquatic Toxicology* 82:1-14.
3. Berto D., Giani M., Boscolo R., Covelli S., Giovanardi O., Massironi M., Grassia L., 2007, Organotins (TBT and DBT) in water, sediments, and gastropods of the southern Venice lagoon (Italy). *Marine Pollution Bulletin* 55:425-35.
4. Bighiu M.A., Watermann B., Guo X., Almroth B.C., Eriksson-Wiklund A.K., 2017, Mortality and histopathological effects in harbour-transplanted snails with different exposure histories. *Aquatic Toxicology* 190:11-20.
5. Bignell J.P., Dodge M.J., Feist S.W., Lyons B., Martin P.D., Taylor N.G.H., Stone D., Trivalent L., Stentiford G.D., 2008, Mussel histopathology: effects of season, disease and species. *Aquatic Biology* 2:1-15.
6. Bolong, N., Ismail, A.F., Salim, M.R. and Matsuura, T., 2009, A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1-3), pp.229-246.
7. Brooks S., Lyons B., Goodsir F., Bignell J., Thain, J., 2009, Biomarker responses in mussels, an integrated approach to biological effects measurements. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 72:196-208.
8. Brooks S.J., Farmen E., Heier L.S., Blanco-Rayón E., Izagirre U., 2015, Differences in copper bioaccumulation and biological responses in three *Mytilus* species. *Aquatic Toxicology* 160:1-12.
9. Chasman B. S., Langston W. J., 2006, Intersex in the clam *Scrobicularia plana*: A sign of endocrine disruption in estuaries? *Biology Letters* 2:420-422.
10. Cotran R.S., Kumar V., Collins T., Robbins S.L., 1999, Pathologic basis of disease, W.B. Saunders Company, USA, Philadelphia.
11. Coustrau C., Renaud F., Delay B., Robbins I., Mathieu M., 1991, Mechanisms involved in parasitic castration: In vitro effects of the trematode *Prosohynchus squamatus* on gametogenesis and the nutrient storage metabolism of the marine bivalve mollusk *Mytilus edulis*. *Experimental parasitology* 73:36-43.
12. Crenshaw, M.A., 1980, Mechanisms of shell formation and dissolution. In: *Skeletal Growth of Aquatic Organisms*. Rhoads, D.C. and Lutz, R.A. (eds). Plenum Press, New York, pp. 115-132.
13. Davis J.W., Gonsior S.J., Markham D.A., Marty G.T., 2004, Investigation of the biodegradation of 14 hexabromocyclododecane in sludge, sediment and soil. In: *Toxicology and Environmental Research and Consulting*. The Dow Chemical Company, Midland, Michigan, USA, 113 pp.
14. Delgado M., Camacho A. P., 2002, Hermaphroditism in *Ruditapes decussatus* (L.) (Bivalvia) from the Galician coast (Spain). *Scientia Marina* 66:183-185.
15. Depledge M.H., Fossi M.C., 1994, The role of biomarkers in environmental assessment (2). *Invertebrates. Ecotoxicology* 3:161-72.
16. Elston R., 1997, Special topic review: bivalve mollusc viruses. *World Journal of Microbial Biotechnology* 13:393-403.
17. Gagné F., Bouchard B., André C., Farcy E., Fournier M., 2011, Evidence of feminization in wild *Elliptio complanata* mussels in the receiving waters downstream of a municipal effluent outfall. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 153:99-106.
18. Gray J.S., 1992, Biological and ecological effects of marine pollutants and their detection, *Marine Pollution Bulletin* 25:48-50.
19. Janas U., Wocial J., Szaniawska A., 2004, Seasonal and annual changes in the macrozoobenthic populations of the Gulf of Gdansk with respect to hypoxia and hydrogen sulphide. *Oceanologia* 46:85-102.
20. Johansson B. O., Dahlberg K., 1999, The environmental status of the Baltic Sea in the 1940th, today and in the future. *Ambio* 28: 312-319.

21. Larsson J., Lönn M., Lind E.E., Świeżak J., Smolarz K., Grahn M., 2016, Sewage treatment plant associated genetic differentiation in the blue mussel from the Baltic Sea and Swedish west coast. *PeerJ* 4, p.e2628.
22. Lauckner G., 1983, Diseases of mollusc: Bivalvia, In: Kinne, O. (ed.) *Diseases of Marine Animals*, vol. II, pp. 481-485.
23. Lundstedt-Enkel K., Asplund L., Nylund K., Bignert A., Tysklind M., Olsson M., Orber J., 2006, Multivariate data analysis of organochlorines and brominated flame retardants in Baltic Sea guillemot (*Uria aalge*) egg and muscle. *Chemosphere* 65:1591-1599.
24. Ortiz-Zarragoitia M., Cajaraville M.P., 2010, Intersex and oocyte atresia in a mussel population from the Biosphere's Reserve of Urdaibai (Bay of Biscay). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 693-701.
25. Putten E.V., Dehairs F., Keppens E., Baeyens W., 2000, High resolution distribution of trace elements in the calcite shell layer of modern *Mytilus edulis*: environmental and biological controls. *Geochemica and Cosmochimica Acta* 64, 997-303.
26. Rogowska J., 2010, Impact of pollution derived from ship wrecks on marine environment on the basis of S/S *Stuttgart* (Polish coast, Europe). *Science of the Total Environment* 23:5775-83.
27. Romo-Pinera A. K. R., Ceballos-Vazquez B. P., Garcia-Dominguez F., Arellano-Martinez M., 2003, Unusual high frequency of hermaphroditism in the gonochoric bivalve *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) (Veneridae). *Journal of Shellfish Research* 28:785-789.
28. Rosi-Marshall E.J. and Royer T.V., 2012, Pharmaceutical compounds and ecosystem function: an emerging research challenge for aquatic ecologists. *Ecosystems*, 15(6):867-880.
29. Santillo D., Johnston P., Langston W. J., 2001., Tributyltin (TBT) antifoulants: A tale of ships, snails and imposex. In: P. Harremoës, D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keys, B. *Journal of Veterinary Pathology* 79:154-162.
30. Schiedek D., Broeg K., Baršienė J., Lehtonen K.K., Gercken J., Pfeifer S., Vuontisjärvi H., Vuorinen P.J., Dedonnye V., Koehler A., Balk L., 2006, Biomarker responses as indication of contaminant effects in blue mussel (*Mytilus edulis*) and female eelpout (*Zoarces viviparus*) from the southwestern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 53:387-405.
31. Silva P.M., Magalhaes A.R.M., Barracco M.A., 2002, Effects of *Bucephalus* sp. (Trematoda: Bucephalidae) on *Perna perna* mussels from a culture station in Ratones Grande Island. *Journal of Invertebrates Pathology* 79:154-162.
32. Sokołowski A., Wołowicz M., Hummel H., Smolarz K., Fichet D., Radenac G., Thiriot-Quievréux C., Namiennik J., 2004, Abnormal features of *M. balthica* (Bivalvia) in the Baltic Sea: alerting symptom of environmental changes? *Marine Pollution Bulletin* 49:17-22.
33. Staniszevska M., Falkowska L., Grabowski P., Kwaśniak J., Mudrak-Cegiołka S., Reindl A. R., Sokołowski A., Szumiło E., Zgrundo A., 2014, Bisphenol A., 4-tert-Octylphenol and 4-Nonylphenol in the Gulf of Gdańsk (Baltic). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 67:335-347.
34. Turja R., Höher N., Snoeijs P., Baršienė J., Butrimavičienė L., Kuznetsova T., Kholodkevich S.V., Devier M.H., Budzinski H., Lehtonen K.K., 2014, A multibiomarker approach to the assessment of pollution impacts in two Baltic Sea coastal areas in Sweden using caged mussels (*Mytilus trossulus*). *Science of the Total Environment* 473:398-409.
35. Turja R., Soirinsuo A., Budzinski H., Devier M.H., Lehtonen K.K., 2013, Biomarker responses and accumulation of hazardous substances in mussels (*Mytilus trossulus*) transplanted along a pollution gradient close to an oil terminal in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 157:80-92.
36. Veltman K., Hendrics J., Huijbregts M., Leonards P., van der Heuvel-Grev, M., Vethaak D., 2005, Accumulation of organochlorines and brominated flame retardants in estuarine and marine food chains: Field measurements and model calculations. *Marine Pollution Bulletin* 50:1085-1102.
37. Zegers B.N., Mets A., Van Bommel R., Minkenberg C., Hamers T., Kamstra J.H., Pierce G.J., Bon J.P., 2005. Levels of hexabromocyclododecane in harbor porpoises and common dolphins from Western European Seas, with evidence for stereoisomer-specific biotransformation by cytochrome P450. *Environmental and Scientific Technology* 39:2095-2100.

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Wprowadzone skróty odnoszą się do numeracji prac przedstawionej w „Wykazie opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacji o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki” i oznaczają: P – publikacja; M – monografia, książka lub rozdział w książce; DiO – dokumentacja prac i opracowania zbiorcze; E – ekspertyzy; PM – projekty międzynarodowe; PK – projekty krajowe; R – referat konferencyjny; KP – prezentacja posterowa na konferencji; PMgr – praca magisterska.

Osiągnięcia naukowe

I. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora.

W trakcie studiów doktoranckich, po raz pierwszy zetknęłam się z jedną z najpoważniejszych konsekwencji antropopresji w środowisku morskim, a mianowicie z chorobami nowotworowymi u morskich bezkręgowców. W Zatoce Gdańskiej chorobę stwierdzono u trzech z czterech gatunków małży, *Limecola (Macoma) balthica*, *Mya arenaria* oraz *Mytilus edulis trossulus*. Geograficzny obszar występowania neoplazji obejmował całą Zatokę Gdańską i miał charakter rozwijającej się epizoocji. Badania prowadzone w trakcie doktoratu (lata 2000 – 2004) pozwoliły mi na przeprowadzenie wielokierunkowej diagnostyki neoplazji z wykorzystaniem technik takich jak histologia, cytogenetyka czy cytometria przepływowa, co w znacznym stopniu przyczyniło się do poznania nowotworu. Było to możliwe dzięki otrzymaniu dwóch grantów Marie Curie Training Center (5 PR UE) oraz uzyskaniu dofinansowania z Uniwersytetu w Paryżu (University Paris VI). Umożliwiło mi to odbycie stażu w stacji morskiej w Villefranche sur Mer (Observatoire Oceanologique w Villefranche sur Mer, Université P. et M. Curie, Paris VI, Francja) oraz w specjalistycznym laboratorium genetyczno-patologicznym (Laboratoire de Génétique et Pathologique, IFREMER, La Tremblade, Francja). Dzięki temu nawiązałam też współpracę z prof. Catherine Thiriot-Quievreux i prof. Tristanem Renault w zakresie cytogenetyki i patologii małży. Analizy cytogenetyczne małży z neoplazją wykazały występowanie aberracji chromosomowych strukturalnych i liczbowych (aneuploidia). We współpracy z prof. C. Thiriot-Quievreux opracowałam charakterystykę jednego z markerów chromosomowych, stref organizatorów jąderkowych (NOR). W interfazie zdrowych komórek średnia liczba aktywnych stref NOR była niższa niż komórek nowotworowych, co potwierdziło niewielką aktywność mitotyczną tych komórek. W chromosomach metafazowych zaobserwowane zostały cztery fenotypy NOR charakterystyczne dla komórek zdrowych, a u *L. balthica* z neoplazją odnotowano 11 różnych fenotypów, z których tylko trzy odpowiadały fenotypom podziału normalnego (Smolarz i in. 2003, publikacja P1). Dodatkowo, obecność zmiennych stref NOR odzwierciedla zmiany strukturalne w komórkach nowotworowych oraz określa ich aktywność transkrypcyjną, a w konsekwencji charakteryzuje zdolności podziałowe oraz ploidię, co było podstawą do adaptacji testu NOR w analizach toksyczności środowiska.

We współpracy z prof. T. Renault wykonałam charakterystykę histologiczną *L. balthica* wraz z określeniem stopnia zaawansowania nowotworu. Opracowana została cytofluorymetryczna metoda diagnostyki neoplazji bazująca na wykazanej wcześniej podwyższonej ilości DNA w komórkach nowotworowych w stosunku do komórek

nienowotworowych. Analizy cytofluorymetryczne wykazały, że profil cytofluorymetryczny (PC) małży bez neoplazji składał się głównie z komórek w fazie spoczynkowej i niewielkiej ilości komórek w fazie podziałowej. PC małży z neoplazją, w zależności od stadium zaawansowania nowotworu, charakteryzował się współwystępowaniem diploidalnych komórek w fazie G0/G1 cyklu oraz komórek aneuploidalnych w różnych fazach cyklu. Dzięki otrzymaniu stypendium rządu francuskiego, pod kierunkiem prof. T. Renault przeprowadziłam badania z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM). W oparciu o TEM udokumentowano zmiany ultrastruktur komórkowych komórek nowotworowych, do których zaliczono m.in. hipertrofię komórek nowotworowych oraz ich jąder, pofałdowanie błony komórkowej oraz jądrowej, zgrupowania mitochondriów oraz większą ilość wolnych rybosomów, płatowaty kształt jądra komórkowego i obecność pseudoinkluzyj.

Uzyskanie z Komitetu Badań Naukowych (KBN) grantu promotorskiego umożliwiło mi poszerzenie zakresu badań o charakterystykę warunków środowiskowych towarzyszących neoplazji. Analizie poddano szereg parametrów abiotycznych takich jak temperatura i zasolenie wody naddennej, zawartość materii organicznej, stężenia wybranych metali ciężkich i związków z grupy polichlorowanych bifenyli oraz wykonano test ogólnej toksyczności osadów (TOX Alert 100). W wyniku tych badań wyodrębniono kilka czynników mogących promować powstanie nowotworu, m.in. wysoka toksyczność osadów przekraczającą normy HELCOM 2002, zanieczyszczenia gromadzące się w powierzchniowych warstwach osadów oraz biokumulacja zanieczyszczeń w tkankach małży. Analizy osadów wykazały podwyższoną zawartość labilnych form Cu, Pb, Zn i Cd oraz towarzyszącą metalom większą zawartość materii organicznej we frakcji osadu <0.063 mm. Efekt synergistyczny, w wyniku którego szereg czynników może indukować proces nowotworzenia u małży z badanego rejonu oraz potencjacja toksyczności są także prawdopodobne (Sokołowski i in. 2004, publikacja P2).

Powstały w wyniku współpracy polsko–francuskiej doktorat, oryginalnie pisany w formie manuskryptu, obroniłam z wyróżnieniem w 2005 roku. Został on także wyróżniony przez Gdańskie Towarzystwo Naukowe.

II. Po uzyskaniu stopnia doktora.

Moja fascynacja tematem zmian patologicznych występujących u morskich bezkręgowców nie skończyła się wraz z doktoratem. Kontynuacja współpracy z prof. Tristanem Renault zaowocowała serią publikacji z zakresu badań przeprowadzonych w trakcie doktoratu i tuż po nim (publikacje P3-P6). W tym też czasie zostałam członkiem grupy roboczej WGPDMO (*Working Group on Pathology and Diseases of Marine Organisms*) z ramienia

ICES (*International Council of the Exploration of the Sea*), na której prezentowano uzyskane wyniki (R14). W tym czasie powstała również praca podsumowująca dotychczasową wiedzę o etiologii neoplazji (Wołowicz i in. 2005, M8), która ukazała się w książce pt. *The comparative roles of suspension-feeders in ecosystems* (red. Dame R.F., Olenin S.) wydanej przez NATO Science Series IV: Earth and Environmental Series. Ze względu na wagę zagadnienia, kontynuację badań dotyczących przyczyn i mechanizmów powstawania neoplazji w środowisku morskim zaliczyłam do zadań priorytetowych. W roku 2007 uzyskałam grant własny KBN pt. *Zmiany patologiczne oraz aberracje chromosomowe prowadzące do transformacji nowotworowej u małży z Zatoki Gdańskiej*, którego byłam kierownikiem (PK4). Głównym celem grantu było udokumentowanie zmian morfologicznych, aberracji chromosomowych i uszkodzeń komórkowych mających miejsce przed transformacją nowotworową u małży z zanieczyszczonych rejonów Zatoki Gdańskiej. Zastosowanie metod cytogenetyki klasycznej oraz test MN nie wykazało częstszych uszkodzeń DNA, chromosomów, zaburzeń wrzeciona kariokinetycznego czy zmian w liczbie i morfologii chromosomów, które można by zaklasyfikować jako wskaźniki nowotworzenia. Zaobserwowano natomiast, że najbardziej aktywne mitotycznie oraz metabolicznie były komórki pochodzące od osobników z rejonów dotkniętych neoplazją, natomiast najmniej te z punktu o niewielkiej frekwencji neoplazji. Ponadto, u małży z rejonów o podwyższonej zachorowalności na neoplazję zaobserwowano występowanie nieprawidłowości w morfologii jądra komórkowego takie jak wielojąderkowość czy mostki nukleoplazmatyczne. W przekrojach histologicznych zdrowych małży znacznie częściej odnotowywano obecność komórek dysplastycznych zlokalizowanych w epitelium skrzeli. Niestety nie udało się potwierdzić czy komórki te to prekursorzy transformacji nowotworowej, nie stwierdzono też naciekającego rozrostu w głąb zrębu tkankowego. W tym też czasie, wraz z magistrantką (PMgr13) po raz pierwszy opisałyśmy diploidalny kariotyp *Saduria entomon*, reliktoowego gatunku współwystępującego z *L. balthica* w obszarach głębszych z podwyższoną zachorowalnością na neoplazję. Powyższe wyniki zaprezentowano w formie autorskiego opracowania (DiO5), publikacji (Tomaszkiewicz i in. 2011, P7) oraz wystąpień na konferencjach *Molluscan Shellfish Safety* (Nowa Zelandia, KP13) i *International Conference On Marine Pollution And Ecotoxicology* (Hong Kong, KP9).

W środowisku naturalnym czynników stresujących jest wiele, co jest związane z dużą zmiennością czynników tam występujących. Synergistyczne interakcje pomiędzy biotycznymi i abiotycznymi czynnikami środowiska uważa się za induktory zmian patologicznych na wszystkich poziomach organizacji biologicznej. Dlatego też próba wyjaśnienia efektu

ekotoksykologicznego i toksycznego środowiska oraz ewentualnej potencjacji toksyczności i jej wpływu na tkanki organizmów żywych stanowią motyw przewodni prowadzonych przeze mnie badań. W roku 2006 wystąpiłam o zagraniczne stypendium dla wybitnych młodych naukowców „Kolumb”, finansowane przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (PM7). Otrzymanie tego prestiżowego dofinansowania pozwoliło mi na odbycie rocznego stażu zagranicznego w Uniwersytecie Södertörn's (Szwecja). Praca pod kierunkiem prof. Michaela Gilka w kierowanej przez niego Marine Ecotoxicology Group pozwoliła mi rozwinąć warsztat naukowy w zakresie: i) relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy zanieczyszczeniami a ich efektem na różnych poziomach organizacji biologicznej, ii) oceny zagrożeń toksykologicznych miejsc szczególnie zagrożonych (ang. *pollution hot spot*), oraz w zakresie iii) zarządzania ryzykiem. Dzięki modyfikacji i adaptacji technik cytogenetycznych do oceny toksyczności wybranych związków modelowych, udało się przetestować cyto- i genotoksyczność związku HBCDD, co stanowi część osiągnięcia habilitacyjnego [publikacja 2]. Po powrocie na Uniwersytet Gdański, w roku 2008, ponownie zostałam beneficjentem stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, co pozwoliło mi zaprezentować badania na forum międzynarodowym na konferencji *SETAC International Meeting* (Australia, R13). W dalszym ciągu kontynuowałam badania nad zależnościami przyczynowo skutkowymi pomiędzy różnego rodzaju zanieczyszczeniami a ich biologicznym efektem. W roku 2009 zostałam wyłoniona jako beneficjent otwartego konkursu na dwuletni staż podoktorski finansowany przez szwedzką Fundację Badań Bałtyku (*Östersjöstiftelsen*) w Centrum Badań Bałtyku przy Uniwersytecie Södertörn (Szwecja), co pozwoliło mi na kontynuację prowadzonych od roku 2007 badań pod kierownictwem prof. M. Gilka. W ramach odbytego przeze mnie dwuletniego stażu podoktorskiego (2009-2011) powstały dwie prace naukowe; (Johannesson i in. 2011, P8) oraz zaliczona do osiągnięcia naukowego publikacja [3]. W pracy P8 wykazujemy, że, w populacjach gatunków Bałtyckich, odtworzenie zaburzonej dynamiki populacji lub reintrodukcja populacji lokalnie wymarłych może być bardzo trudna lub wręcz niemożliwa. Jest to związane kilkoma cechami gatunków bałtyckich, do których należą lokalne adaptacje, izolacja, wysoki stopień klonalności, endemizm i utrata zmienności genetycznej obniżające potencjał powstawania nowych adaptacji do zmieniającego się środowiska. W przypadku Morza Bałtyckiego jest to szczególnie krytyczne, gdyż w akwenie tym główne funkcje ekosystemu mogą być podtrzymywane przez pojedynczy gatunek kluczowy. Poza dorobkiem publikacyjnym, dzięki współpracy z prof. Claire Bradshaw i prof. Michael Gilek, prowadziłam prace terenowe, eksperymenty ekspozycyjne, badania laboratoryjne oraz doskonaliłam swoje umiejętności dotyczące analiz statystycznych. Czas pobytu w Szwecji pozwolił mi także na

uczestnictwo w kursach prowadzonych na Uniwersytecie Karolinska (Szwecja), m.in. *Receptor mediated toxicity* (2007). Badania prowadzone w czasie moich dwóch staży zostały zaprezentowane na kilku konferencjach i sympozjach naukowych takich jak *INTECOL meeting* (Australia, KP12), *International Conference On Marine Pollution And Ecotoxicology* (Hong Kong, KP9) czy *Molluscan Shellfish Safety* (Francja, KP 10).

Kontynuując ten nurt badań, jako podwykonawca brałam udział w projekcie finansowanym przez Komitet Badań Naukowych, którego głównym celem była ocena oddziaływania wraków na środowisko na przykładzie wraku S/S „*Stuttgart*” (PK3). W ramach tego projektu, moim zadaniem była ocena wpływu wraku S/S *Stuttgart* na występujące w jego sąsiedztwie bezkręgowce morskie z wykorzystaniem markerów cytogenetycznych, testu mikrojąder oraz identyfikacji zmian na poziomie komórek i tkanek w oparciu o analizy histologiczne. Testy toksykologiczne z wykorzystaniem częstotliwości występowania zmian histopatologicznych, NOR i MN przeprowadzone na małżach z trzech profili zlokalizowanych w różnych odległościach od wraku *Stuttgart* wykazały, że organizmy te wykazują znamiona stresu chronicznego związanego z bytowaniem w niekorzystnych warunkach środowiskowych. Wyniki przeprowadzonych analiz chemicznych osadów na obecność zanieczyszczeń organicznych (WWA, PCB) oraz wybranych pierwiastków metalicznych wykazały ich wysokie stężenia w osadach, a testy toksyczności chronicznej i częściowo toksyczności ostrej potwierdziły zły stan środowiska na kilku profilach z tego rejonu. Uzyskane wyniki przedstawiono w raporcie DiO6 (Wołowicz i Smolarz 2009). W roku 2012 zostałam zaproszona przez Instytut Morski (Gdańsk) jako ekspert do oceny stopnia toksyczności rejonu kłapowiska Gdynia w ramach projektu p.t. *Application of ecosystem principles for the location and management of offshore dumping sites in SE Baltic region* (ECODUMP, PM5). Kłapowiska są to miejsca składowania m.in. urobku czerpalnego, który pochodzi głównie z pogłębiania kanałów portowych oraz torów podejściowych do portów jak również z prac inwestycyjnych prowadzonych na obszarach morskich. Należą one do obszarów o szczególnie dużej kumulacji związków potencjalnie toksycznych, które, na skutek interakcji osad-woda oraz osad-organizmy bentosowe, mogą niekorzystnie wpływać na makrobentos. Głównym celem badań było udokumentowanie zmian morfologicznych, cytogenetycznych i uszkodzeń komórkowych powstałych na skutek ekspozycji na zdeponowane zanieczyszczenia oraz zdiagnozowanie obrazu „stanu zdrowia” kłapowiska Gdynia. Uzyskane wyniki pozwoliły wyodrębnić dwie grupy stacji, na których częstotliwość występowania histopatologii, mikrojąder i innych nieprawidłowości w budowie jądra komórkowego u *L. balthica* była odmienna. W przypadku głębszych stacji w rejonie kłapowiska Gdynia wykazano, że malakofauna bentosowa wykazuje

znamiona stresu chronicznego związanego z bytowaniem w niekorzystnych warunkach środowiskowych, natomiast lepsze warunki panowały na płytszych stacjach badawczych. Efekty mojej pracy przedstawiłam w autorskim raporcie pt. *Wpływ zanieczyszczeń rejonu kłapowiska Gdynia na malakofaunę bentosową z wykorzystaniem testu mikrojąderek (MN), zmian histopatologicznych oraz stref NOR jako niespecyficznych markerów efektu*” (DiO4).

Realizowana współpraca zagraniczna zaważyła na mojej dalszej drodze naukowej, gdyż w 2009 roku zaproszono mnie do uczestnictwa w multidyscyplinarnym projekcie międzynarodowym analizującym zarządzanie ryzykiem w obrębie Morza Bałtyckiego pt. *Risk Governance of the Baltic Sea* (RISKGOV, PM6). W ramach projektu RISKGOV powstało kilka opracowań naukowych (DiO3, M6) oraz wystąpień konferencyjnych, na których zaprezentowano wyniki projektu (m.in. *International Conference on Molluscan Shellfish Safety* (Australia, KP7), *Baltic Sea Science Congress* (2011), *European Marine Biology Symposium* (Chorwacja, R7), *World Conference on Marine Biodiversity* (Szkocja, R8) czy *ICES Annual Science Conference* (Polska, R10). Zwieńczeniem projektu jest książka w prestiżowym wydawnictwie Springer Series pt. *Environmental Governance of the Baltic Sea* (Gilek i in. 2016, M1), której byłam współredaktorem oraz współautorem rozdziałów dotyczących zagadnień związanych z zarządzaniem ryzykiem środowiskowym w rejonie Bałtyku (M2-M3).

Podczas pobytu na stażu podoktorskim w Szwecji nawiązałam także współpracę z prof. Matsem Grahn, który specjalizuje się w genetyce populacyjnej oraz biologii molekularnej. Współpraca ta zaowocowała wspólnym projektem badawczym finansowanym przez szwedzką Fundację Badań Bałtyku pt. *Evolutionary adaptation to environmental disturbance in marine ecosystems: genetic ecotoxicology in the Baltic Sea* (PM4). Kierownikiem projektu był prof. Mats Grahn, a ja głównym wykonawcą i koordynatorem ze strony polskiej. Projekt, prowadzony w latach 2011-2014, miał odpowiedzieć na pytanie czy i w jaki sposób bioróżnorodność na poziomie genetycznym wpływa na zdolności adaptacyjne wybranych gatunków makrofauny dennej do zmieniających się warunków środowiska. W projekcie byłam odpowiedzialna za część ekotoksykologiczną badań, analizy środowiskowe oraz dobór i analizę biomarkerów toksyczności chronicznej na różnych poziomach organizacji biologicznej. W czasie jego realizacji wykonana została seria analiz środowiskowych w różnych rejonach Morza Bałtyckiego oraz Cieśnin Duńskich. Wyniki uzyskane podczas wcześniejszych projektów oraz staży w Szwecji pozwoliły na wytypowanie odpowiednich markerów stresu środowiskowego, co w rezultacie przełożyło się na kompleksową analizę toksyczności geograficznie odległych rejonów Bałtyku i cieśnin Duńskich znajdujących się pod silną antropopresją. Wykorzystanie specyficznych markerów genetycznych o wysokiej

rozdzielczości takich jak AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) wraz z technikami modelowania statystycznego oraz weryfikacja stopnia introgresji genomów pochodzących od *M. edulis* i *M. trossulus* występującego w Morzu Bałtyckim *M. edulis trossulus* pozwoliło na ocenę roli izolacji genetycznej i przepływu genów w kształtowaniu struktury genetycznej populacji omułka i adaptacji do lokalnych warunków środowiskowych. W pracy Larsson i in. (2016a, P11) wykazano, że populacja omułka z Zatoki Botnickiej charakteryzuje się mniejszym zróżnicowaniem genetycznym niż populacje omułka z rejonów Cieśnin Duńskich i Bałtyku Centralnego. Prowadzone w ramach projektu badania pozwoliły na kompleksową ocenę wpływu zanieczyszczeń na różnorodność i zróżnicowanie genetyczne 11 populacji omułka z Morza Bałtyckiego. Kolejnym osiągnięciem było wykazanie zróżnicowania genetycznego pomiędzy populacjami małży z rejonów zrzutu wód poczyszczalnianych w stosunku do innych badanych populacji i wskazanie presji selekcyjnej jako potencjalnego motoru tych zmian, co wskazuje na istnienie wyboru kierunkowego działającego w skali lokalnej (Larsson i in. 2016b, P12). Ekotoksykologiczny aspekt badań stanowi część mojego osiągnięcia naukowego [publikacja 6]. Uzyskane wyniki prezentowano na kilku konferencjach naukowych, w tym *Estuaries and Coastal Areas in Times of Intense Change* (Chiny, R2) czy *International Conference On Marine Pollution And Ecotoxicology* (Hong Kong, R4). W ramach badań powstały także trzy prace magisterskie (PMgr7 – 9).

Od roku 2007, kiedy to uczestniczyłam w kursie „*Receptor Mediated Toxicity*”, myślałam o rozpoczęciu prac nad zagadnieniami związanymi z endokrynologią bezkręgowców morskich. Inspiracją do podjęcia badań były wyniki uzyskane z poprzednich badań, a zwłaszcza często występujący zaburzony stosunek płci u małży *L. balthica* i *M. edulis trossulus*. Stało się to możliwe dopiero w 2010 roku po podjęciu współpracy z dr Anną Hallmann z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, z którą uzyskałyśmy grant badawczy Komitetu Badań Naukowych oraz własny Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego (PK1 i PK2). Celem projektu KP1 było określenie wpływu na ontogenezę oraz ocena zagrożenia bezkręgowców morskich Zatoki Gdańskiej ekspozycją na związki zaburzające gospodarkę hormonalną destabilizujące funkcje endokrynne organizmów i powodujące występowanie zmian fizjologicznych i behawioralnych. Prowadzone badania dotyczyły analizy stężeń hormonów steroidowych kluczowego gatunku makrofauny dennej jakim jest omułek *M. edulis trossulus* zarówno w wymiarze przestrzennym (kilka stanowisk badawczych) jak i czasowym (zmienność sezonowa). Ponadto, w odpowiedzi na moją sugestię badałyśmy występowanie różnic w profilu hormonalnym samców i samic omułka (Zabrzeńska i in. 2015, P9). Wynikiem prowadzonych badań było opracowanie metodyki oznaczania stężeń steroidowych hormonów płciowych w oparciu o technikę LC

MS/MS (Hallmann i in. 2016, P11) oraz analiza zmienności stężeń steroidów w zależności od sezonu, stopnia rozwoju gonad, rodzaju tkanki i płci (Smolarz i in. 2018, P13). Okazało się, że dwa najważniejsze zagadnienia związane z endokrynologią małży morskich dotyczą nie tyle obecności hormonów sterydowych w tkankach, ale raczej ich pochodzenia (endogenne *v* egzogenne) oraz roli, jaką pełnią te związki na różnych etapach rozwoju osobniczego i przebiegu gametogenezy małży. Podczas prowadzonych prac udało się pozyskać pośrednie dowody świadczące o egzogennym pochodzeniu hormonów płciowych i ich niewielkiej roli podczas gametogenezy (P9 i P13). W trakcie badań zwróciłam uwagę na występowanie zmian zanikowych w gonadach męskich i żeńskich u małży zasiedlających okolice ujścia kolektora odprowadzającego oczyszczone wody z oczyszczalni ścieków. Występowanie tych zmian powiązałam z ekspozycją na związki zaburzające gospodarkę hormonalną, których głównym źródłem są właśnie wody poczyszczalniane. Potencjał bioindykacyjny atrezji gonad został potwierdzony eksperymentem ekspozycyjnym, w którym wykorzystano sztuczny hormon steroidowy etinyloestradiol w środowiskowo istotnych dawkach [publikacja 4]. Wyniki tych badań zostały przedstawione na międzynarodowych konferencjach, m.in. *International Conference On Marine Pollution And Ecotoxicology* (Hong Kong, R3, R11 i KP6), *European Marine Biology Symposium* (Chorwacja R6, Słowenia KP1) czy *Pollutants Response in Marine Organisms* (USA, R9). W ramach projektów powstały także dwie prace magisterskie (PMgr10 i 11). Pracą łączącą projekty PM4 i PK1 była kompleksowa analiza występowania zjawiska interseksualności u małży z różnych rejonów Bałtyku i cieśnin Duńskich, która również wchodzi w skład mojego osiągnięcia naukowego [publikacja 5].

W roku 2012 uzyskałam możliwość prowadzenia badań nad wpływem hydrofobowych zanieczyszczeń organicznych na organizmy zasiedlające wody oligotroficzne finansowanego z programu *Association of European Marine Biological Laboratories (ASSEMBLE)* oraz *Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)*. Projekt DIETOX (PM3), którego byłam kierownikiem, realizowany był we współpracy z Międzyuczelnianym Instytutem Badań Morskich w Ejlath (Izrael). Projekt ten był ukierunkowany na rozwijanie innowacyjnych metod proekologicznych, które mogą znaleźć komercyjne zastosowanie w monitoringu i ochronie środowiska Morza Czerwonego. Efektem projektu jest praca magisterska PMgr6, raport DiO2 (Smolarz i Ziółkowska 2014) oraz wystąpienia konferencyjne i popularnonaukowe.

Ostatnim projektem badawczym, w którym brałam udział jako koordynator pakietu WP3 pt. *Ecological risk assessment of potential CO₂ leakages*, był projekt pt. *Effects of potential leakage from the sub-seabed CO₂ storage on marine environment at relevant hydrostatic pressures* (CO₂Marine, PM1) finansowany przez polsko-norweski mechanizm

finansowy w latach 2014-2017. Głównym problemem badawczym CO₂Marine była analiza wpływu potencjalnego wycieku CO₂ ze składowisk usytuowanych pod dnem morskim na chemizm osadów, wód i makrobentos z wykorzystaniem komory hiperbarycznej w celu uzyskania naturalnego ciśnienia hydrostatycznego. W badaniach biologicznych wykorzystano dwa gatunki modelowe; kalcyfikujący (*L. balthica*) oraz nie kalcyfikujący (*Hediste diversicolor*). Efektem projektu było opracowanie w formie raportu (Smolarz 2017, DiO1), prace magisterskie (PMgr1 i 6) i wystąpienia na konferencji *European Marine Biology Symposium* (Grecja, KP4). Aktualnie, z uwagi na moją roczną nieobecność związaną z urlopem macierzyńskim, trwają prace nad przygotowaniem manuskryptu do publikacji.

Moja działalność naukowa w dziedzinie badań nad chorobami nowotworowymi występującymi u małży morskich została doceniona na arenie międzynarodowej. W latach 2004-2010 uczestniczyłam w grupie roboczej ICES on *Pathology and Diseases of Marine Organisms*. W latach 2012-2013 byłam członkiem the *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), a od 2008 roku należę do stowarzyszenia *The International Association for Ecology* (INTECOL) oraz jestem członkiem fundacji *Nauka w Rozwoju*. W latach 2014-2016 byłam przedstawicielem Zakładu Funkcjonowania Ekosystemów Morskich w sieci NMA (*Nordic Marine Academy*) oraz członkiem komitetu redakcyjnego i rady naukowej czasopisma *Journal of Research in Innovation - Natural, Medical and Health Sciences*. W 2017 roku zostałam zaproszona jako ekspert do Zespołu Zadaniowego ds. Opinii i Rozwoju Biologii Morza działającego przy Sekcji Biologii Morza Komitetu Badań Morza w kadencji 2016 – 2020. Pełniłam także funkcje recenzenta artykułów naukowych dla czasopism międzynarodowych takich jak *Aquatic Toxicology*, *Proceedings B*, *Heredity*, *Diseases of Aquatic Organisms*, *PeerJ*, *Chromosome Research*, *Environmental Monitoring and Assessment* i *Journal of Marine Science and Engineering*, dla których wykonałam łącznie 20 recenzji. Zostałam także zaproszona do recenzowania projektu badawczego dla amerykańskiej agencji *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Osiągnięcia dydaktyczne, popularyzatorskie i organizatorskie

Będąc zatrudniona w Instytucie Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego, mam możliwość rozwijać swoje zainteresowania dydaktyczne oraz pogłębiać umiejętności w zakresie upowszechniania wiedzy i popularyzowania nauki wśród studentów I i II stopnia kierunku Oceanografia, ale także na innych kierunkach studiów. Już od studiów doktoranckich, a więc od 2000 roku, prowadzę zajęcia zarówno terenowe, na statku jak i laboratoryjne, a po ukończeniu doktoratu także autorskie wykłady. Prowadziłam zajęcia z zakresu biologii morza,

ekologii, podstaw genetyki, bioindykacji, chorób i zmian patologicznych oraz szereg warsztatów tematycznych. Prowadzone przeze mnie cykle wykładowe wraz z ćwiczeniami z *Podstaw Genetyki Organizmów Morskich, Bioindykacji, Diagnostyki Molekularnej* oraz *Chorób i Zmian Patologicznych u Organizmów Wodnych* przygotowałam zarówno w oparciu o badania własne jak i literaturę światową. Ponadto prowadzę lub prowadziłam zajęcia w ramach pracowni dyplomowej (studia I stopnia) i magisterskiej (studia II stopnia) oraz ćwiczenia terenowe w ramach kursów na studiach I stopnia *Warsztaty specjalistyczne w morzu i strefie brzegowej* i *Warsztaty specjalistyczne w strefie brzegowej*.

W pracy dydaktycznej zawsze stawiałam sobie za cel rozbudzenie zainteresowania studentów zdobywaniem wiedzy i motywacji, promowanie uczenia się ze zrozumieniem, aktywności i samodzielności. Za sukces uważam fakt, że część promowanych przeze mnie studentów jest konkurencyjna także poza granicami kraju dostając się na doktoraty do zagranicznych jednostek badawczych oraz kontynuuje przygodę z nauką na stażach podoktorskich oraz pracując w jednostkach badawczych. Przez okres ośmiu lat pracy na Uniwersytecie Gdańskim (odliczając czas spędzony na stażach naukowych oraz urlop macierzyński), wypromowałam 14 magistrów i jedną pracę licencjacką, jestem opiekunem kolejnych dwóch prac magisterskich i dwóch prac licencjackich. Dzięki prowadzonej przeze mnie współpracy zagranicznej moi studenci mieli wielokrotnie możliwość pracować w zagranicznych jednostkach badawczych (szereg wyjazdów studentów w latach 2013-2016). Dodatkowo, byłam recenzentem ponad 15 prac licencjackich i magisterskich wypromowanych na Uniwersytecie Gdańskim, Wydziale Oceanografii i Geografii. Sprawowałam także opiekę naukową jako promotor pomocniczy nad doktorantką na Uniwersytecie Södertörn, Szwecja (D1). Promotorem ww. pracy doktorskiej był prof. Mats Grahn z Uniwersytetu Södertörn s, a tematem *Genetic aspects of environmental disturbances in marine ecosystems*. W tym też czasie zostałam poproszona o recenzowanie licencjatu na III poziomie nauczania, który w systemie szwedzkim jest oceną dwuletniego dorobku w ramach doktoratu. Promotorem pracy doktorskiej pt. *Exploring phenomena that affect the fate and impact of radioactive materials in the blue mussel* była prof. Clare Bradshaw z Uniwersytetu w Sztokholmie (Faculty of Science, Department of Ecology, Environment and Plant Sciences).

W sierpniu 2010 r. zostałam zaproszona jako wykładowca do współprowadzenia letniej szkoły dla doktorantów pt. *Risk Governance of the Baltic Sea*, która miała miejsce w stacji morskiej w Asko, Szwecja (KO2). W maju 2011 zostałam zatrudniona na 30% etatu na Uniwersytecie Södertörn, Szwecja, na stanowisku wykładowcy akademickiego, na którym pracowałam przez okres 18 miesięcy. W 2012 brałam także udział w przygotowaniu

międzynarodowego programu studiów magisterskich pt. *International Master of Sciences Marine Biodiversity and Conservation* w Gandawie (Belgia), w ramach którego przygotowałam program autorski części kursu pt. *Biological methods of conserving marine environments* oraz *Marine biodiversity risks and sustainable development* (OD4 i 5). Rok później, na zaproszenie Uniwersytetu w Nicei (University of Cote d'Azur, Francja), przygotowałam autorski wykład dla studentów studiów magisterskich pt. *Marine biodiversity under anthropogenic stress - a case study of the Baltic Sea* (OD3). W roku 2014 przygotowałam część przedmiotu pt. *Ecological assessment of marine environments*, który miał być prowadzony w ramach Uniwersytetu Jutra (OD2). Brałam też udział, jako członek komitetu organizacyjnego i/lub organizator sesji tematycznej, w organizacji międzynarodowych konferencji naukowych takich jak konferencje pt. *Knowledge and sustainability* w Sztokholmie (KO3 w 2009, KO2 w 2010) czy *Towards better environmental risk governance of the Baltic Sea* w Gdyni (KO1 w 2011).

Dodatkowo, w roku 2010 zaproponowano mi współuczestnictwo w przygotowaniu książki p.t. *Fizyczne, biologiczne i chemiczne badania morskich osadów dennych* pod redakcją prof. dr hab. Jerzego Bolałka, w ramach której przygotowałam rozdział p.t. *Patologie a osady: diagnostyka zmian patologicznych u organizmów morskich* (Smolarz i Wołowicz 2010, M7). W latach 2013 – 2014 zostałam zaproszona do wzięcia udziału w projekcie Angola II, którego celem była budowa i utworzenie Akademii Rybołówstwa i Nauk o Morzu w Namibii. Projekt ten powstał na zamówienie Ministerstwa Rybołówstwa w Angoli. Jego efektem było przygotowanie dwóch konspektów do ćwiczeń z przedmiotów pt. *Histologia, epidemiologia i immunologia* oraz *Podstaw genetyki organizmów morskich* oraz dwóch podręczników akademickich pt. *Choroby i zmiany patologiczne u organizmów wodnych* (Smolarz i Zabrzeńska 2014, M4) i *Biologia reprodukcji i rozwoju* (Bielecka i in. 2014, M5). Zarówno konspekty ćwiczeniowe jak i podręczniki akademickie zostały wydane w języku portugalskim.

W roku 2007 rozpoczęłam trwającą pięć lat współpracę z firmą CONECO-BCE w Krakowie, w ramach której, jako koordynator prac technicznych, nadzorowałam wykonanie analiz hydrologicznych, hydrochemicznych, biologicznych i hydrofizycznych z rejonu planowanej inwestycji wypuszczenia kolektora ścieków w Dębogórze oraz byłam odpowiedzialna za jakościowe i ilościowe analizy makrozoobentosu. Efektem tych prac było współautorstwo czterech raportów typu OOŚ (Ocena Oddziaływania na Środowisko) na zlecenie CONECO-BCE i Gdańskiej Infrastruktury Wodociągowo Kanalizacyjnej oraz Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji (E2 – E5). Dodatkowo, byłam współautorem opinii dotyczącej wpływu organizmów znajdujących się w kanale odpływowym na terenie Oczyszczalni Ścieków *Wschód* w Gdańsku na jakość ścieków oczyszczonych (Woźniak i in.

2011, E1). W latach 2009-2017 byłam autorem i współautorem czterech raportów o charakterze dokumentacji prac badawczych oraz dwóch publikacji nieimpaktowanych z zakresu analizy ryzyka środowiskowego (DiO1-4 i DiO6). W latach 2008 – 2014 zaangażowałam się w działalność popularyzatorską nauki i brałam aktywny udział w Bałtyckim Festiwalu Nauki i Pikniku Naukowym, w ramach którego zorganizowałam szereg imprez popularno-naukowych.

Podczas pracy w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego pełniłam funkcje natury administracyjnej związane z funkcjonowaniem Instytutu jako jednostki naukowo – dydaktycznej. W latach 2012 – 2013 byłam opiekunem drugiego roku MSU, kierunku Oceanografia, specjalizacja: Biologia Morza. W 2012 pełniłam funkcje sekretarza komisji rekrutacyjnej na kierunku Oceanografia. Zostałam także powołana jako członek Instytutowego Zespołu do spraw Opracowania Inteligentnej Specjalizacji Pomorza w zakresie *Gospodarczego wykorzystania zasobów morza*, a w latach 2012 – 2016 pełniłam funkcje przedstawiciela adiunktów na Radzie Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego. W latach 2016 – 2017 byłam członkiem Instytutowego Zespołu do spraw Powołania Kierunku Studiów Akwakultura: biznes i technologia a w 2017 roku członkiem rady programowej tego kierunku.

Przyszłe badania

W najbliższej przyszłości moje badania będą całkowicie poświęcone etiologii neoplazji u bezkręgowców morskich. W 2018 roku otrzymałam projekt NCN o numerze 2017/26/M/NZ8/00478 pt. *Zakaźna neoplazja? Rola horyzontalnego transferu komórek nowotworowych w etiologii neoplazji u małży z Zatoki Gdańskiej*, w którym, we współpracy z prof. Stephen Goff z Uniwersytetu Kolumbia (USA), zbadamy, czy neoplazja u małży z Zatoki Gdańskiej jest chorobą zakaźną związaną z występowaniem horyzontalnego transferu komórek nowotworowych między osobnikami tego samego gatunku jak i między gatunkami (B1). Pomimo wielu dowodów potwierdzających rolę zanieczyszczeń w etiologii neoplazji, najnowsze badania sugerują, że pozioma transmisja niezależnych linii komórek nowotworowych między osobnikami tego samego gatunku jak również między gatunkami zachodzi w środowisku morskim i jest zjawiskiem dużo częstszym niż wcześniej przypuszczano. To otwiera nowe i fascynujące perspektywy prowadzenia badań nad etiologią neoplazji w latach 2018 – 2021.

Podsumowanie

Podsumowując, w skład mojego dorobku naukowego wchodzi **19 oryginalnych prac** opublikowanych w języku angielskim (z czego 17 opublikowanych po uzyskaniu stopnia

naukowego doktora), w czasopismach z JCR, które powstały w ramach współpracy krajowej i międzynarodowej. Ponadto, jestem współautorem dwóch pozycji spoza Listy Filadelfijskiej oraz redaktorem i współredaktorem czterech książek wydanych przez wydawnictwa takie jak Springer Series (jedna pozycja anglojęzyczna), NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences (jedna pozycja anglojęzyczna) i Wydawnictwo Akademii Morskiej (dwie pozycje w języku portugalskim). Jestem autorem lub współautorem trzech rozdziałów w książkach wydanych przez Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego (jedna pozycja w języku polskim) oraz Springer Series (dwa rozdziały anglojęzyczne), sześciu raportów oraz pięciu ekspertyz typu OOŚ (Ocena Oddziaływania na Środowisko). Mój **indeks Hirsha** wynosi **8**, a według bazy Web of Science moje prace były **cytowane 131 razy** (bez samocytowań). Sumaryczny **Impact Factor** publikacji wydanych po uzyskaniu stopnia doktora, według listy *Journal Citation Reports* (JCR) oraz zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **36.176**, a z 5-cio letnich okresów obejmujących rok wydania publikacji **37.89**. Sumaryczna liczba punktów, zgodnie z wytycznymi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, publikacji wchodzących w skład dorobku i osiągnięcia habilitacyjnego wynosi **543**. Wyniki swoich badań prezentowałam na licznych konferencjach i sympozjach, będąc autorem lub współautorem **34** wystąpień konferencyjnych, w tym **16 referatów** i **18 posterów** (z czego 14 prezentacji ustnych i 15 prezentacji posterowych powstało po otrzymaniu stopnia doktora).

Po otrzymaniu stopnia doktora byłam **kierownikiem 5 projektów naukowych**, koordynatorem WP w jednym, głównym wykonawcą w trzech, oraz wykonawcą lub podwykonawcą w czterech, z których większość była realizowana w ramach współpracy międzynarodowej. W latach 2005-2018 aktywnie współpracowałam z szeregiem naukowców z zagranicznych i krajowych instytucji badawczych. Jestem laureatką kilku nagród i stypendiów naukowych, m.in. *Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej* i *Association of European Marine Biological Laboratories*, a w 2007 otrzymałam nagrodę I stopnia Rektora Uniwersytetu Gdańskiego za pracę zespołową. W 2018 za działalność naukową zostałam wyróżniona przez Dziekana Wydziału Oceanografii i Geografii UG oraz nominowana do Medalu Komisji Edukacji Narodowej. Wypromowałam 14 magistrów i dwie prace licencjackie. Sprawowałam też opiekę naukową jako promotor pomocniczy nad doktorantką na Uniwersytecie Södertörn, Szwecja, której obrona odbyła się w grudniu 2017.

