

# **Autoreferat**

## **Znaczenie dopływu wód podziemnych do morskich ekosystemów przybrzeżnych**

Dr Beata Szymczycha  
Instytut Oceanologii  
Polskiej Akademii Nauk w Sopocie  
Ul. Powstańców Warszawy 55  
81-712 Sopot

Sopot, 2023

1. Imię i nazwisko

Beata Szymczycha

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

• **Doktor nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii**, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie. 29.10.2013

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Submarine Groundwater Discharge (SGD) as a source of nutrients, carbon and heavy metals to the Bay of Puck, off Hel”.

• **Magister**, kierunek chemia w zakresie chemii biologicznej, Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, 19.06.2008

Tytuł pracy magisterskiej: „Badanie wpływu obecności reszty kwasu 1-aminocykloheksano-1-karboksyowego w pozycjach 5 oraz 5 i 8 na właściwości farmakologiczne modelowego antagona bradykininy”.

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

2016-obecnie **adiunkt:** Pracownia Biogeochemii Morza, Zakład Chemii i Biochemii Morza, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie.

2015-2016 **postdoc:** USGS, Woods Hole Coastal and Marine Science Center, Woods Hole, USA.

2011-2016 **specjalista-technik:** Pracownia Biogeochemii Morza, Zakład Chemii i Biochemii Morza, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie.

2008-2013 **doktorant:** Pracownia Biogeochemii Morza, Zakład Chemii i Biochemii Morza, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie.

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.).

Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego: **Znaczenie dopływu wód podziemnych do morskich ekosystemów przybrzeżnych.**

**Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:**

**O1.** Szymczycha B., Kroeger K.D., Crusius J., Bratton J.F., 2017. Depth of the vadose zone controls aquifer biogeochemical conditions and extent of anthropogenic nitrogen removal. Water Research 123:794-801, DOI: 10.1016/j.watres.2017.06.048 [IF (JCR2017): 7.55 (JCR2022): 13.6; cytowania: 12 (11 bez autocytowań); Liczba punktów ministerialnych: 140]

**Wkład autorski:** Interpretacja wyników, analiza statystyczna, przygotowanie rycin i tabel, przygotowanie koncepcji manuskryptu, dobór literatury, przygotowanie i edytowanie manuskryptu.

**O2.** Szymczycha B., Kroeger K.D., Pempkowiak J., 2016. Significance of groundwater discharge along the coast of Poland as a source of dissolved metals to the southern Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin, 109: 151-162, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.008 [IF

(JCR2016): 3.41/(JCR2022): 7.001; cytowania: 24 (13 bez autocytowań); Liczba punktów ministerialnych: 100].

**Wkład autorski:** Przygotowanie koncepcji badań, pobranie próbek, udział w analizach pobranych próbek środowiskowych, przygotowanie rycin i tabel, interpretacja wyników, analiza statystyczna, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu.

**O3. Szymczycha B.,** Kłostowska Ż., Lengier M., Dzierzbicka-Głowacka L., 2020. Significance of nutrient fluxes via submarine groundwater discharge in the Bay of Puck, southern Baltic Sea. *Oceanologia* 62:117-25, DOI: 10.1016/j.oceano.2019.12.004 [IF (JCR2020): 2.427/(JCR2022): 2.526; cytowania: 10 (6 bez autocytowań); Liczba punktów ministerialnych: 100].

**Wkład autorski:** Przygotowanie koncepcji badań, pobranie próbek, udział w analizach pobranych próbek środowiskowych, przygotowanie rycin i tabel, interpretacja wyników, analiza statystyczna, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu.

**O4. Kłostowska Ż., Szymczycha B.,** Lengier M., Zarzeczńska D., Dzierzbicka-Głowacka L., 2020. Hydrogeochemistry and magnitude of SGD in the Bay of Puck, southern Baltic Sea. *Oceanologia* 62:1-11, DOI: 10.1016/j.oceano.2019.09.001 [IF (JCR2020): 1.988(JCR2022): 2.427; cytowania: 6 (2 bez autocytowań); Liczba punktów ministerialnych: 100].

**Wkład autorski:** Przygotowanie koncepcji badań, pobranie próbek, udział w analizach pobranych próbek środowiskowych, przygotowanie większości rycin i tabel, wyznaczenie natężenia dopływu SGD, analiza statystyczna, dobór literatury oraz znaczący udział w przygotowaniu i edytowaniu manuskryptu.

**O5. Szymczycha B.,** Borecka M., Białk-Bielińska A., Siedlewicz G., Pazdro K., 2020. Submarine groundwater discharge as a source of pharmaceutical and caffeine residues in coastal ecosystem: Bay of Puck, southern Baltic Sea case study. *Science of the Total Environment* 713: 136522, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136522 [IF (JCR2020): 7.96/ (JCR2022): 10.753; cytowania: 33 (31 bez autocytowań); Liczba punktów ministerialnych: 200].

**Wkład autorski:** Przygotowanie koncepcji badań, udział w koncepcji przygotowania poprawnej metodyki pobierania i analizy pozostałości farmaceutyków i kofeiny w pobranych próbkach, pobranie próbek, udział w analizach pobranych próbek środowiskowych, przygotowanie rycin i części tabel, interpretacja wyników, analiza statystyczna, dobór literatury oraz przygotowanie i edytowanie manuskryptu.

#### Dane naukometryczne:

Numer publikacji	Czasopismo	Rok	IF/IF 2022*	Liczba punktów ministerialnych
O1	Water Research	2017	7.55/13.6	140
O2	Marine Pollution Bulletin	2016	3.41/7.001	100
O3	Oceanologia	2020	2.427/ 2.526	100
O4	Oceanologia	2020	2.427/ 2.526	100
O5	Science of the Total Environment	2020	7.96/ 10.753	200

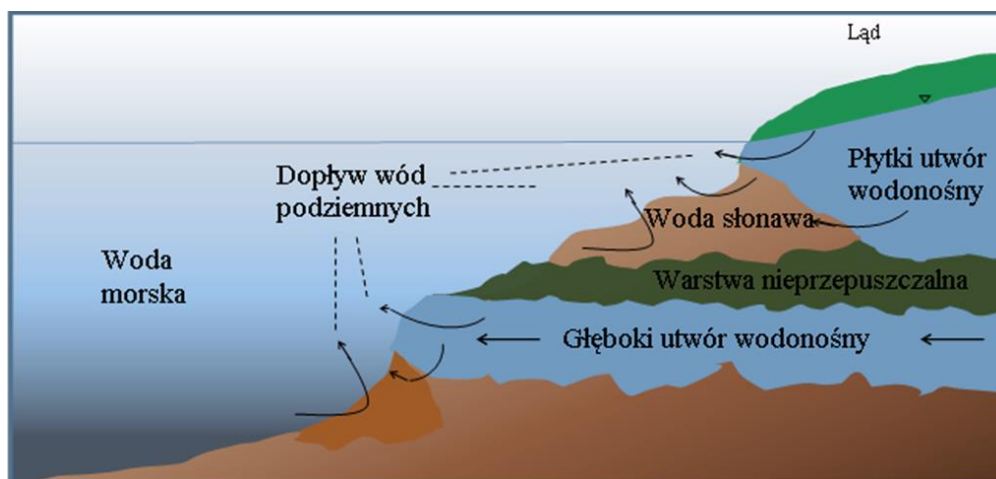
\*IF z roku publikacji / IF z 2022

## Omówienie celu naukowego oraz wyników prac stanowiących osiągnięcie habilitacyjne:

### Wprowadzenie

Strefa przybrzeżna spełnia kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemu morskiego, co więcej jest również obszarem silnie eksploatowanym przez człowieka. Ponad połowa ludności świata mieszka w pasie 200 km od wybrzeża, na którym koncentruje się rozwój społeczny, kulturowy i gospodarczy. Z tego powodu badanie interakcji pomiędzy lądem i oceanem jest niezbędne w celu zrozumienia funkcjonowania ekosystemu strefy przybrzeżnej, jego prawidłowego zarządzania oraz ochrony.

Na środowisko przyrodnicze morskiej strefy przybrzeżnej oddziałuje wiele czynników. Niektóre połączenia lądu z morzem są oczywiste (spływ powierzchniowy), podczas gdy inne nie są tak ewidentne (dopływ wód podziemnych). Znaczenie spływu rzecznej zostało dobrze scharakteryzowane, oznaczono m.in. przepływy oraz jakościowy i ilościowy skład wody rzecznej, co wynika z łatwości dostępu i pobierania próbek do analizy. Woda rzeczna zawiera, zwykle, większe niż woda morska stężenia substancji rozpuszczonych, takich jak m.in. metale śladowe, substancje biogeniczne czy związki organiczne. Ładunki tych substancji wpływają na geochemiczny obieg pierwiastków i mogą doprowadzić do degradacji środowiska przyrodniczego strefy przybrzeżnej.



**Rycina 1.** Schemat dopływu wód podziemnych.

Dopływ wód podziemnych (z ang. **submarine groundwater discharge - SGD**<sup>1</sup>) to zjawisko powszechnie występujące w strefie brzegowej. Choć obecność podmorskich źródeł była znana od czasów Rzymian (Taniguchi i in., 2019), ten „niewidzialny dopływ” był przez wiele lat zaniedbywany naukowo ze względu na trudność w identyfikacji SGD i przekonanie, że proces ten jest nieistotny. Dodatkowym problemem utrudniającym zrozumienie znaczenia SGD okazała się niejednoznaczna definicja tego zjawiska. W badaniach oceanicznych SGD oznacza zarówno wodę podziemną jak i recyrkulowaną wodę morską, natomiast w badaniach

<sup>1</sup> W autoreferacie skrót SGD będzie stosowany zamiennie do określenia dopływ wód podziemnych.

hydrogeologicznych SGD to jedynie woda podziemna. Z tego powodu badania nad SGD były prowadzone z różnych punktów widzenia, a czasem różnice terminologiczne między naukowcami doprowadzały do nieporozumień, na przykład podczas porównywania natężenia dopływu SGD wykorzystując różne metody badawcze (Burnett i in., 2006; Taniguchi i in., 2019). W ostatnim dziesięcioleciu społeczność międzynarodowa przyjęła definicję dopływu wód podziemnych zaproponowaną przez Burnett i in. (2003) brzmiącą: SGD to całkowity dopływ wody z dna morskiego do strefy przybrzeżnej mórz i oceanów bez względu na jej skład czy siłę napędową (Rycina 1). Ta definicja uwzględnia zarówno wodę słodką jak i recyrkulowaną wodę morską.

Od lat 80-tych XX wieku dopływ wód podziemnych zaczął wzbudzać coraz większe zainteresowanie ze względu na rosnące obawy o jego rolę zarówno, jako źródła wody słodkiej jak i substancji chemicznych (Moore, 2020; Burnett i in., 2003, 2006; Taniguchi i in., 2021; Alorda-Kleinglass 2021). Odnotowano, że SGD może pełnić istotną rolę w przybrzeżnych obiegach hydrologicznych i biogeochemicznych (np.: Cai i in., 2003; Charette and Sholkovitz, 2002, 2006; Slomp and Van Cappellen, 2004; Kroeger i in., 2007; Moore, 2010; Wang i in., 2018; Moosdorf i in., 2021). Mimo, iż na początku XXI wieku badania nad SGD zaczęły cieszyć się popularnością i nie są już pomijane jako źródło substancji biogenicznych czy innych rozpuszczonych substancji chemicznych, w wielu miejscach na świecie SGD ciągle nie zostało zidentyfikowane ze względu na brak prowadzenia badań nad tym zjawiskiem.

Morze Bałtyckie jest przykładem akwenu, gdzie dopływ wód podziemnych jest słabo rozpoznany. Najwięcej badań jak dotąd zostało przeprowadzone w Zatoce Puckiej (Piekarek-Jankowska 1994; Szymczycha i in., 2012; Szymczycha i in., 2013; Kotwicki i in., 2014; Szymczycha i in., 2014; Donis i in., 2017). Nie mniej jednak natężenie dopływu SGD nie zostało prawidłowo wyznaczone, podobnie jak towarzyszące SGD ładunki substancji chemicznych oraz procesy mające na nie wpływ (zarówno w warstwach wodonośnych jak i podczas samego dopływu). Należy podkreślić że, badania charakteryzujące zmienność przestrzenną i czasową SGD ciągle pozostają wyzwaniem, nie tylko w Morzu Bałtyckim ale również w innych akwenach.

W celu przeprowadzenia rzetelnej oceny znaczenia SGD jako źródła wody słodkiej oraz substancji chemicznych do polskiej strefy przybrzeżnej Morza Bałtyckiego ze szczególnym uwzględnieniem Zatoki Puckiej udałam się na staż podoktorski do Kevina Kroegera (United States Geological Survey, Woods Hole, USA), aby badania nad SGD rozpocząć w miejscu gdzie proces ten został już zidentyfikowany oraz częściowo scharakteryzowany. Następnie zdobytą wiedzę wykorzystałam w badaniach na Bałtyku.

Głównymi celami mojego osiągnięcia habilitacyjnego było:

1. Określenie kluczowych czynników wpływających na skład chemiczny SGD w polskiej strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego (O1, O2, O3).
2. Określenie znaczenia SGD jako źródła związków biogenicznych, metali śladowych oraz nowo pojawiających się zanieczyszczeń<sup>2</sup> dla środowiska morskiego polskiej strefy

---

<sup>2</sup> Substancje zaliczane do nowo pojawiających się zanieczyszczeń mogą być składnikami środków zmniejszających palność wyrobów, rozpuszczalników, materiałów wybuchowych, środków pirotechnicznych, produktów gospodarstwa domowego (np. naczyń kuchennych, gdzie zastosowano nieprzywierające powłoki), wodoodpornej odzieży, ale również dodatków do farmaceutyków czy hormonów.

przybrzeżnej Morza Bałtyckiego, uwzględniając zmienność przestrzenną i sezonową (O2, O3, O4, O5).

W swoich badaniach chciałam zweryfikować następujące hipotezy badawcze:

1. Głównymi czynnikami kontrolującymi obieg substancji chemicznych w miejscach wsięku wód podziemnych to potencjał oksydacyjno-redukcyjny oraz grubość warstwy saturacji.
2. SGD to istotne lokalnie źródło wybranych substancji chemicznych.

## **Materialy i metody**

W osiągnięciu habilitacyjnym wybrałam następujące substancje chemiczne do badań szczegółowych: związki biogeniczne ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), wybrane metale śladowe (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb oraz Zn), wybrane nowo pojawiające się zanieczyszczenia takie jak pozostałości farmaceutyków (ibuprofen, naproksen, karbamazepina, sulfapirydyna, sulfadiazyna, sulfametoksazol, ketoprofen, sulfamerazyna, sulfametazyna, trimetoprim, diklofenak, nacetylo-sulfametoksazol, sulfadimetoksyna, enrofloksacyna, tetracyklina, oksytetracyklina) oraz kofeina.

Badania były prowadzone wzdłuż północnego (w okolicy miasta Northport oraz zatocze Manhasset) i południowego (zatocze Great South Bay) wybrzeża Long Island, USA; wzdłuż polskiego wybrzeża w okolicach miejscowości Międzyzdroje, Kołobrzeg, Łeba oraz Zatocze Puckiej.

## **Wyniki**

### **1. Czynniki wpływające na skład wód podziemnych i SGD (O1, O2, O3).**

Skład wód podziemnych zależy od czynników naturalnych (np. budowa geologiczna) i antropogenicznych (np. przesączanie się substancji chemicznych pochodzących z gospodarstw rolnych, ścieków czy nawozów sztucznych zdeponowanych na polach). W większości niezanieczyszczonych warstw wodonośnych panują warunki tlenowe. W tych warstwach rozkład materii organicznej (OM) zachodzi przy udziale tlenu, natomiast w zanieczyszczonych (np. związkami biogenicznymi) warstwach rozkład OM przebiega poprzez denitryfikację, redukcję tlenu manganu i żelaza, redukcję siarczanów oraz ostatecznie metanogenezę (Slomp and Van Cappellen, 2004).

W badaniach prowadzonych na Long Island, USA (O1) dowiodłam iż, w miejscach o podobnej dostawie azotanów do warstw wodonośnych - potencjał oksydacyjno – redukcyjny, stężenie tlenu, oraz stężenie rozpuszczonego węgla organicznego (z ang. dissolved organic carbon-DOC) są modyfikowane przez grubość warstwy saturacji. Gruba strefa saturacji może sprzyjać natlenieniu wód zasilających warstwy wodonośne dzięki wentylacji przestrzeni osadu, które są znacznie większe na obszarach o grubszych strefach saturacji niż na obszarach o cienkiej strefie saturacji. Na obszarach o płytkim poziomie wód podziemnych i cienkiej strefie saturacji, niskie stężenia tlenu i wyższe stężenia DOC sprzyjają produkcji  $\text{N}_2$  w wyniku denitryfikacji. Tym

samym w zależności od grubości warstwy saturacji SGD może być wzbogacone (gruba warstwa saturacji) lub zubożone (cienka warstwa saturacji) w azotany.

W publikacjach O2 i O3 wykazałam, że SGD charakteryzuje się wysokim stężeniem węgla organicznego oraz niskim potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym. Podczas przemieszczania się wód podziemnych w kierunku powierzchni osadów dochodzi do mieszania z recykulowaną wodą morską. Obie masy wodne charakteryzują się zarówno innym składem chemicznym jak i potencjałem oksydacyjno – redukcyjnym. W wyniku mieszania mas wodnych może dochodzić do konserwatywnej (np. rozcieńczenia badanych substancji chemicznych), lub niekonserwatywnej zmiany stężeń substancji w wyniku zmiany formy ich występowania. W publikacji O2 wykazałam, że podczas mieszania się wody podziemnej z wodą morską stężenia niektórych rozpuszczonych metali śladowych takich jak Co, Cd, Pb, Zn ulegają mieszanemu konserwatywnemu natomiast pozostałe metale śladowe takie jak Cr, Mn, Cu oraz Ni ulegają mieszanemu niekonserwatywnemu. Zmiany potencjału oksydacyjno – redukcyjnego wyraźnie wpływały na specjację metali. Niektóre metale, takie jak Cu i Ni, stawały się lepiej rozpuszczalne przy wysokim potencjale oksydacyjno – redukcyjnym, podczas gdy inne metale takie jak Pb, Cd, Co, Mn i Cr wytrącały się przy wzroście potencjału oksydacyjno – redukcyjnego. Część z tych metali w wyniku zmiany potencjału oksydacyjno – redukcyjnego mogły być adsorbowane na tlenkach Fe i Mn lub zawieszanej materii organicznej (Charette i in., 2006). W publikacji O3 wykazałam, że wody podziemne o niskim potencjale oksydacyjno – redukcyjnym były wzbogacone w zredukowane formy rozpuszczonego azotu nieorganicznego, zubożone w utlenione formy rozpuszczonego azotu nieorganicznego oraz wzbogacone w fosforany. Wyższe stężenia jonów amonowych i jonów fosforanowych mogły pochodzić ze źródeł antropogenicznych (O5) oraz być uwalniane w wyniku rozkładu OM. Podczas mieszania się wody podziemnej z wodą morską dochodziło do zwiększenia potencjału oksydacyjno – redukcyjnego, utlenienia jonów amonowych do jonów azotanowych, sorpcji lub współwytrącania z Al, Ca i Fe części jonów fosforanowych.

## **2. Określenie znaczenie SGD jako źródła substancji chemicznych do środowiska morskiego polskiej strefy przybrzeżnej Morza Bałtyckiego uwzględniając zmienność czasową i przestrzenną (O2, O3, O4, O5).**

W celu oceny znaczenia SGD scharakteryzowałam skład chemiczny SGD oraz wyznaczyłam dopływ badanych substancji chemicznych wraz z SGD. W wielu poprzednich badaniach naukowcy często stosowali stężenia substancji występujące w studniach głębinowych. To podejście nie uwzględnia zmian zachodzących podczas dopływu wód podziemnych na przykład związanych ze zmianą potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i warunków tlenowych. W swoich badaniach w celu wyznaczenia strumieni substancji chemicznych próbki SGD pobierałam do głębokości ok. 40 cm w osadzie, tym samym uwzględniając zmianę formy występowania badanych substancji chemicznych. W badaniach wykorzystywałam zarówno dostępne literaturowe natężenia dopływu SGD (Piekarek-Jankowska, 1995; Peltonen, 2002; Kryza i Kryza, 2005), jak i wyznaczone przez siebie.

W celu wyznaczenia natężenia dopływu wód podziemnych do morskiej strefy przybrzeżnej uwzględniając zmienność sezonową i przestrzenną, badania prowadziłam w Zatoce Puckiej

w 6 lokalizacjach: Hel, Jurata, Chałupy, Swarzewo, Puck oraz Osłonino (Rycina 2) w listopadzie 2017, marcu, maju i lipcu 2018.

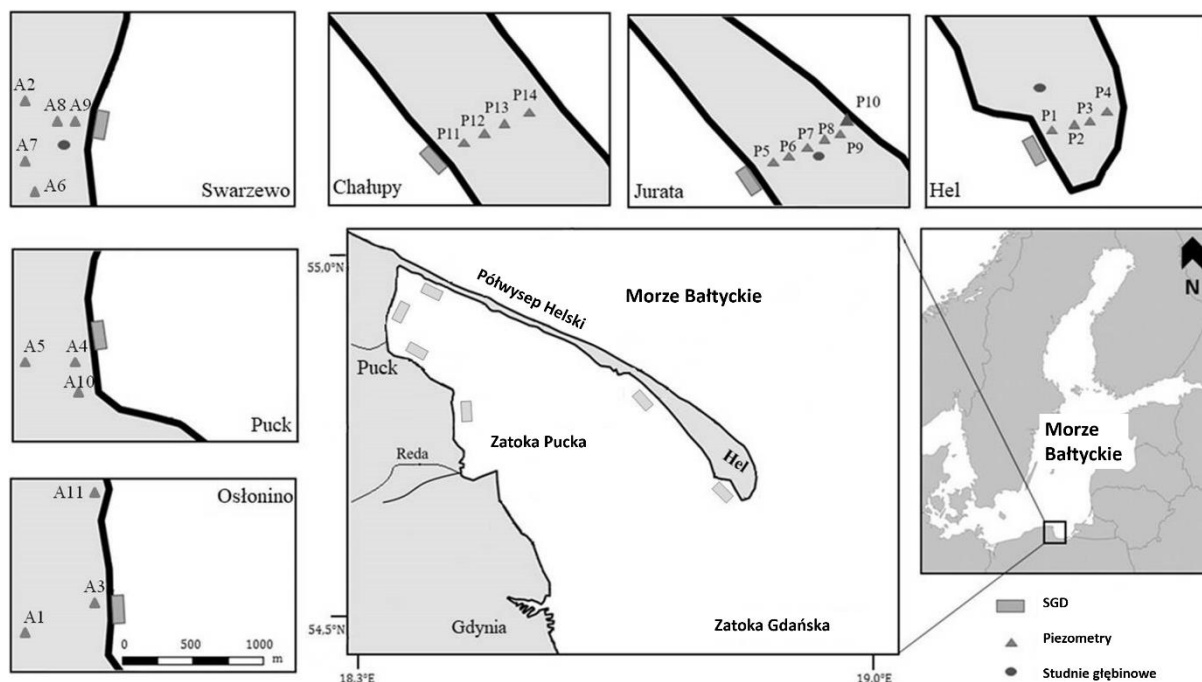
Zastosowałam stężenie chlorków ( $\text{Cl}^-$ ) jako wskaźnik występowania SGD (Schlüter i in., 2004). Uzyskane profile stężenia  $\text{Cl}^-$  w wodach porowych mogą dostarczyć informacji o transporcie substancji w osadach (Schlüter i in., 2004). Proces dyfuzji jest opisywany za pomocą liniowego spadku stężenia  $\text{Cl}^-$  od głębokości w osadzie, podczas gdy przepływ wody słodkiej jest opisywany za pomocą krzywej wykładniczej (Schlüter i in., 2004). W miejscach wsięku wód podziemnych, otrzymane profile stężenia  $\text{Cl}^-$  w wodach porowych miały kształt krzywej wskazując na przepływ wody słodkiej. Do wyliczenia natężenia dopływu SGD zastosowałam jednowymiarowy model adwekcyjno-dyfuzyjny oparty na pionowym rozkładzie stężenia chlorków (Schlüter i in., 2004). Model pozwala obliczyć natężenie dopływu SGD uwzględniając zarówno komponent wód podziemnych jak i recyrkulowanej wody morskiej. Wyznaczone natężenia dopływu SGD charakteryzowały się niewielką zmiennością przestrzenną w porównaniu do zmienności sezonowej i korelowały z czynnikami krótkookresowymi (kierunek wiatru i opady), jak i długookresowymi (sezonowy ruch strefy mieszania i duże wahania poziomu morza). Co więcej ekstrapolowane przeze mnie natężenia dopływu SGD na całą Zatokę Pucką były wyższe niż poprzednio oszacowała Piekarek-Jankowska (1994) (która w swoich wyliczeniach uwzględniała jedynie komponent wody słodkiej) oraz były od 2,5 do 25 razy wyższe niż roczny dopływ wody słodkiej wraz z największą rzeką (rzeka Reda) dopływającą do Zatoki Puckiej.

W publikacji O2 wykazałam iż, stężenia metali śladowych w badanych miejscach wsięku SGD były o jeden (Cd, Co, Cr, Pb i Zn) do dwóch (Mn) rzędów wielkości wyższe niż w wodzie morskiej i nie wykazywały istotnej statystycznie zmienności przestrzennej. Stężenia Cu i Ni były mniejsze w wodach podziemnych, podobnie jak wcześniej zaobserwowano w przypadku rtęci (Szymczycha i in., 2013). Oszacowałam dopływ Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, oraz Zn wraz z SGD do wybrzeża polskiego (O5) i uzyskane wyniki wykazały że, SGD jest lokalnie źródłem metali śladowych. W przypadku Zatoki Puckiej strumienie metali śladowych pochodzące wraz z SGD stanowią 93% dla Cd, 80% dla Co, 91% dla Cr, 6% dla Cu, 66% dla Mn, 4% dla Ni, 70% dla Pb i 93% dla Zn całkowitego dopływu metali śladowych z innych dostępnych w literaturze źródeł (rzeki, źródła punktowe, depozycja atmosferyczna).

W publikacji O3 (Rycina 2) wykazałam iż, stężenia jonów fosforanowych i jonów amonowych były wysokie w wodach podziemnych w porównaniu z miejscami pozbawionymi wpływu wód podziemnych oraz wodą morską. Natomiast stężenia utlenionych form azotu były zubożone w wodach podziemnych. Wysokie stężenia jonów fosforanowych i amonowych zarówno w wodach podziemnych jak i w SGD najprawdopodobniej były spowodowane działalnością człowieka (rolnictwo, odpady komunalne szczególnie podczas okresu wzmożonej turystyki, O5). Podczas mieszania wody podziemnej z wodą morską dochodziło do usuwania jonów amonowych i fosforanowych w ramach utleniania do azotanów (V i III) oraz adsorpcji czy współstrącania fosforanów z Fe, Al, Ca. W wyniku zaobserwowanej zmiany formy występowania badanych substancji chemicznych do wyliczenia strumieni związków biogenicznych wraz z SGD do środowiska morskiego wykorzystałam stężenia tych substancji zarówno w słodkim SGD jak i recyrkulowanym SGD. Zaobserwowałam istotne statystycznie różnice w stężeniach jonów fosforanowych w ujęciu zarówno czasowym, jak i przestrzennym. W przypadku jonów azotanowych (III i V) wykazałam istotne statystycznie różnice sezonowe.



Oszacowałam sezonowy i przestrzenny dopływ jonów amonowych, jonów fosforanowych, jonów azotanowych (V i III) wraz z SGD do Zatoki Puckiej. Obliczone wartości strumieni substancji biogenicznych wraz z SGD są wyższe niż w poprzednim badaniu obejmującym jedynie słodki komponent SGD (Szymczycha i in., 2012). Ponadto, uzyskane wyniki wskazują, że SGD jest ważnym czynnikiem uwalniania składników biogenicznych z osadów, w porównaniu ze strumieniami powrotnymi z osadów obserwowanymi w innych obszarach Morza Bałtyckiego. Z tego powodu SGD może znacząco przyczynić się do zmiany stężenia składników biogenicznych w Morzu Bałtyckim, zwiększając w ten sposób wiosenne i letnie zakwity glonów.



Rycina 2. Mapa miejsc pomiarowych.

W osiągnięciu O5 wykazałam obecność 6 nowo pojawiających się zanieczyszczeń (NPZ) takich jak karbamazepina (CAR), sulfapyrydyna (SPD), sulfametoksazol (SMX), ketoprofen (KET), diklofenak (DCF) oraz kofeina (CAF) zarówno w wodach podziemnych, strumieniach i rzekach jak i SGD (Tabela 1) z 17 badanych substancji (nazwy wszystkich substancji podano w materiałach i metodach O5) w Zatoce Puckiej (Rycina 2). Obecność badanych substancji była większa wiosną i latem, wykazując wpływ turystyki na zwiększone stężenia w badanych próbkach. Skład przybrzeżnych wód podziemnych pokazuje względną przydatność NPZ jako wskaźniki źródeł zanieczyszczeń. W tym badaniu skład płytkiej wody podziemnej został wzbogacony głównie o CAF, SPD, KET, SMX i DCF, natomiast CAF, CAR SPD i DCF znaleziono w próbkach SGD. Można zatem przypuszczać, że źródłem środków przeciwbólowych, środków przeciwzapalnych i kofeiny do wód podziemnych i SGD były ścieki (z systemów kanalizacyjnych i szamb). W rzekach i wodzie morskiej również odnotowano obecność NPZ, natomiast z powodu małej ilości pobranych próbek interpretacja uzyskanych wyników jest ograniczona i stanowi jedynie porównanie dla próbek wód podziemnych i SGD. Stwierdziłam obecność CAF i DCF odpowiednio w 42,6%

i 32,8% wszystkich próbek, podczas gdy CAR, KET, SMX i SPD zidentyfikowałam w 10% lub mniej wszystkich pobranych próbek. Oszacowałam, że wody podziemne i SGD były wzbogacone w wybrane nowo pojawiające się zanieczyszczenia, w wyniku czego SGD okazał się ważnym ich źródłem dla środowiska morskiego. Wstępna ocena ryzyka wykazała, że obecność najczęściej wykrytych związków, takie jak na przykład diklofenak, może mieć duże znaczenie ekologiczne.

**Tabela 1.** Stężenia nowo pojawiających się zanieczyszczeń takich jak karbamazepina (CAR), sulfapyrydyna (SPD), sulfametoksazol (SMX), ketoprofen (KET), diklofenak (DCF) oraz kofeina (CAF) w wodach podziemnych (WP), SGD, rzekach i wodzie morskiej.

Miejsce badań		CAF	CAR	SPD	KET	SMT	DCF
		Minimum-maximum (ng L <sup>-1</sup> ) (ilość próbek w których oznaczono substancje)					
SGD I WP	Hel	58,1-132,5 (5 z 9)	3,5 (1 z 9)	127,2-177,1 (3 z 9)	nw (0 z 9)	nw (0 z 9)	320,3-432,6 (4 z 9)
	Jurata	BQL*- 1029,8 (4 z 11)	nw (0 z 11)	186,1 (1 z 11)	nw (0 z 11)	nw (0 z 11)	16,0-369,8 (4 z 11)
	Chalupy	102,8-722,1 (4 z 15)	nw (0 z 15)	nw (0 z 15)	nw (0 z 15)	nw (0 z 15)	13,3-225,5 (6 z 15)
	Puck	233,5-254,5 (2 z 5)	nw (0 z 5)	27,5 (1 z 5)	nw (0 z 5)	nw (0 z 5)	85,0 (1 z 5)
	Swarzewo	149,6- 1528,2 (6 z 9)	41,0 (1 z 9)	nw (0 z 9)	27,8-731,8 (3 z 9)	2,3-16,1 (3 z 9)	200,7-606,1 (3 z 9)
	Oslonino	24,8-1205,6 (4 z 6)	nw (0 z 6)	nw (0 z 6)	nw (0 z 6)	nw (0 z 6)	402,8 (1 z 6)
	Woda morska	nw** (0 z 3)	nw (0 z 3)	28,2 (1 z 3)	nw (0 z 3)	nw (0 z 3)	195,7 (1 z 3)
	Rzeki	92,9 (1 z 3)	nw (0 z 3)	21,7 (1 z 3)	87,7-132,2 (3 z 3)	5,9-6,0 (3 z 3)	nw (0 z 3)

\*BQL- poniżej granicy oznaczalności

\*\*nw- nie wykryte

## Podsumowanie oraz opis wykorzystania uzyskanych wyników

Znaczenie dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego jest słabo rozpoznany zjawiskiem w społeczności naukowej Morza Bałtyckiego. Zaprezentowany powyżej cykl publikacji w sposób oryginalny i nowatorski pokazuje znaczenie dopływu wód podziemnych zarówno do Zatoki Puckiej oraz do otwartej części strefy przybrzeżnej polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego z uwzględnieniem procesów modyfikujących natężenie dopływu substancji chemicznych wraz z wodami podziemnymi. Wykorzystane przeze mnie metody i opisane procesy mogą również zostać wykorzystane w badaniach innych rejonach świata.

Najważniejszymi osiągnięciami przeprowadzonych przez mnie badań są:

1. Określenie głównych czynników modyfikujących skład dopływających do morskich ekosystemów przybrzeżnych wód podziemnych, takich jak potencjał oksydacyjno – redukcyjny wód oraz grubość strefy saturacji. Czynniki te istotnie wpływają na obieg substancji chemicznych w strefie przybrzeżnej.
2. Wykazanie iż, miejsca dopływu wód podziemnych znacząco różnią się jeżeli chodzi o stężenia badanych substancji od miejsc referencyjnych (pozbawionych wpływu

dopływu wód podziemnych). Zaobserwowane stężenia większości badanych substancji zarówno w wodach podziemnych jak i SGD są od kilku do kilkudziesięciu rzędów wielkości wyższe niż te obserwowane w miejscach pozbawionych wpływu SGD i w wodzie morskiej.

3. Wyznaczenie natężenia dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego na przykładzie Zatoki Puckiej. W celu wyznaczenia natężenia dopływu SGD wykorzystałam uznane przez społeczność międzynarodową podejście, a mianowicie uwzględniając w modelu zarówno słodki, jak i recyrkulowany komponent SGD. Dodatkowo po raz pierwszy w przypadku Zatoki Puckiej przeprowadziłam badania na tak wysoką skalę uwzględniając zmienność czasową i przestrzenną dopływu wód podziemnych. W wyniku przeprowadzonych badań po raz pierwszy wykazano, iż SGD jest głównym źródłem zarówno wody słodkiej jak i badanych substancji chemicznych do Zatoki Puckiej.
4. Wykazanie, iż wody podziemne oraz SGD mogą być wzbogacone w nowo pojawiające się zanieczyszczenia. Fakt ten, z jednej strony wskazuje na konieczność lepszego zarządzania strefą przybrzeżną szczególnie jeżeli chodzi o zarządzanie ściekami bytowymi, z drugiej wskazuje na nową drogę dostawy tych substancji do środowiska morskiego. Dostarczane wraz z wodami podziemnymi substancje biogeniczne mogą doprowadzić do degradacji środowiska morskiego przyczyniając się do zwiększonego zakwitów glonów, a zanieczyszczenia mogą wpływać na skład taksonomiczny oraz powierzchniowe rozmieszczenie liczebności i biomasy organizmów bentosowych.

Jak dotąd powyższe wyniki są jedynymi dostępnymi w literaturze, jeżeli chodzi o skład chemiczny SGD w polskiej części wybrzeża Morza Bałtyckiego, i wskazują na istotne znaczenie SGD dla Zatoki Puckiej charakteryzującej się ograniczonym dopływem wód słodkich z innych w porównaniu do SGD źródeł.

Badania habilitacyjne były inspiracją do kontynuowania badań nad dopływem wód podziemnych do 1) Zatoki Puckiej jak i 2) Arktyki. W pierwszym przypadku współpracuje z dr Maciejem Matciakiem (UG). W wyniku współpracy udało nam się zidentyfikować SGD w środkowych częściach Zatoki Puckiej. Co ciekawe, miejsca wysięku SGD to tzw. pockmarki - depresje w osadach powstające dzięki przepływowi gazu lub/i wody słodkiej. Obecnie przygotowujemy publikację opisującą to zjawisko. W drugim przypadku wraz z koleżankami i kolegami z Norwegii, Szwecji oraz Niemiec realizujemy projekt ArcticSGD którego celem jest identyfikacja SGD w fiordach Svalbardu i Lofotach. Arktyka jest miejscem gdzie zmiany klimatu powodują topnienie lodowców i wieloletniej zmarzliny co istotnie wpływa na obieg wody w tym rejonie i potencjalnie może zwiększyć dopływ uwolnionych z wieloletniej zmarzliny substancji chemicznych wraz z SGD do środowiska morskiego.

**Wyniki otrzymane w osiągnięciu habilitacyjnym zostały również wykorzystane do przygotowania następujących prac:**

- **monografie naukowe lub rozdziały w monografiach naukowych**

1. Siedlewicz G., Sharma L., **Szymczycha B.**, Białk-Bielińska A., Pazdro K., 2021. Chapter 8 - The present and future challenges in the development of multiresidue analytical methods for the determination of pharmaceuticals in seawater samples. w *Pharmaceuticals in Marine and Coastal Environments: Occurrence, Effects and Challenges in a Changing World*, edited by Durán-Álvarez J.C., Jiménez-Cisneros B., Elsevier, pp. 275-301, DOI:10.1016/B978-0-08-102971-8.00015-9 [cytowania: 0 (0 bez autocytowań)]

2. **Szymczycha B.**, Pempkowiak J., 2016. *The Role of Submarine Groundwater Discharge as Material Source to the Baltic Sea*, Springer Cham, 136 stron, ISBN 978-3-319-25959-8, ISSN 2190-5193. DOI:10.1007/978-3-319-25960-4 [cytowania: 4 (4 bez autocytowań)]

- **ekspertyzy naukowe:**

1. Bratton K.D, Crusius, J., **Szymczycha B.**, Mann A.G., Brosnahan S.B., Casso M., Erban L. 2017. Coastal Groundwater Chemical Data from the North and South Shores of Long Island, New York: U.S. Geological Survey data release, <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/5953a36de4b062508e3c7b5a>.

2. Huntington T.G., Colman J.A., McCobb T.D., Kroeger K.D., Bohlke J.K., Brooks T.W., **Szymczycha B.**, 2022, Geochemical data supporting analysis of fate and transport of nitrogen in the nearshore groundwater and subterranean estuary near East Falmouth, Massachusetts, 2015-2016: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/F7C828KG>.

- **artykuły w czasopismach naukowych :**

1. Arévalo-Martínez D. L., Haroon A., Bange H. W., Erkul E., Jegen M., Moosdorf N., Schneider von Deimling J., Berndt C., Böttcher M. E., Hoffmann J., Liebetrau V., Mallast U., Massmann G., Micallef A., Michael H. A., Paasche H., Rabbel W., Santos I., Scholten J., Schwalenberg K., **Szymczycha B.**, Thomas A. T., Virtasalo J. J., Waska H., Weymer B. A., 2023. Ideas and perspectives: Land–ocean connectivity through groundwater, *Biogeosciences*, 20, 647–662, <https://doi.org/10.5194/bg-20-647-2023>, [cytowania: 0; Liczba punktów: 140]

2. Dzierzbicka-Głowacka L., Dybowski D., Janecki M., Wojciechowska E., **Szymczycha B.**, Potrykus D., Nowicki A., Szymkiewicz A., Zima P., Jaworska-Szulc B., Pietrzak S., Pazikowska-Sapota G., Kalinowska D., Nawrot N., Wielgat P., Dembska G., Matej-Łukowicz K., Szczepańska K., Puszkarczuk T., 2022. Modelling the impact of the agricultural holdings and land-use structure on the quality of inland and coastal waters with an innovative and interdisciplinary toolkit. *Agricultural Water Management* 263:107438, DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107438 [IF (JCR2020): 4.516; cytowania: 1 (1 bez autocytowań); Liczba punktów: 140]

3. Reckermann M., Omstedt A., Soomere T., Aigars J., Akhtar N., Beldowska M., Beldowski J., Cronin T., Czub M., Eero M., Hyytiäinen K.P., Jalkanen J.-P., Kiessling A., Kjellström E., Kuliński K., Larsén X.G., McCrackin M., Meier H.E.M., Oberbeckmann S., Parnell K., Pons-Seres de Brauwer C., Poska A., Saarinen J., **Szymczycha B.**, Undeman E., Wörman A., Zorita E., 2022. Human impacts and their interactions in the Baltic Sea region. *Earth System Dynamics* 13:1–80, DOI: 10.5194/esd-13-1-2022 [IF (JCR2020): 5.540; cytowania: 12 (11 bez autocytowań); Liczba punktów: 140]

4. Dzierzbicka-Głowacka L., Janecki M., Dybowski D., **Szymczycha B.**, Obarska-Pempkowiak H., Wojciechowska E., Zima P., Pietrzak S., Pazikowska-Sapota G., Jaworska-

Szulc B., Nowicki A., Kłostowska Ż., Szymkiewicz A., Galer-Tatarowicz K., Wichorowski M., Białoskórski M., Puszkarczuk T., 2019. A new approach for investigating the impact of pesticides and nutrient flux from agricultural holdings and land-use structures on baltic sea coastal waters. *Polish Journal of Environmental Studies* 28:2531-2539, DOI: 10.15244/pjoes/92524 [IF (JCR2017): 1.120; cytowania: 15 (13 bez autocytowań); Liczba punktów: 40]

5. Kotwicki L., Grzelak K., Czub M., Dellwig O., Gentz T., **Szymczycha B.**, Bottcher M.E., 2014. Submarine groundwater discharge to the Baltic coastal zone: Impacts on the meiofaunal community. *Journal of Marine Systems* 129: 118–126. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.009 [IF (JCR2012): 2.655; cytowania: 37 (29 bez autocytowań); Liczba punktów: 100]

6. **Szymczycha B.**, Maciejewska A., Winogradow A., Pempkowiak J., 2014. Could submarine groundwater discharge be a significant carbon source to the southern Baltic Sea? *Oceanologia* 56: 327–347, DOI: 10.5697/oc.56-2.327 [IF (JCR2012): 1.024; cytowania: 42 (27 bez autocytowań); Liczba punktów: 100]

**Wyniki opisane w niniejszym osiągnięciu zostały zaprezentowane podczas 23 krajowych i międzynarodowych konferencjach w formie referatów lub posterów:**

1. Human impacts and their interactions in the Baltic Sea region. Reckermann, M., Omstedt, A., Soomere, T., Aigars, J., Akhtar N., Beldowska, M., Beldowski, J., Cronin, T., Czub, M., Eero, M., Hyytiäinen, K. P., Jalkanen, J.-P., Kiessling, A., Kjellström, E., Kuliński, K., Larsén, X. G., McCrackin, M., Meier, H. E. M., Oberbeckmann, S., Parnell, K., Pons-Seres de Brauwer, C., Poska, A., Saarinen, J., Szymczycha, B., Undeman, E., Wörman, A. and Zorita, E., *Baltic Sea Science Congress (BSSC 2021)*, 18.10-22.10.2022, Aarhus (Dania)

2. Dopływ wód podziemnych w zmieniającej się Arktyce: Zasięg i wpływ biogeochemiczny. **Szymczycha, B.**, Borecka, M., Diak, M., Böttcher, M.E., Hong, W. -L., Knies, J., Kotwicki, L., Koziorowska-Makuch, K., Kuliński, K., Lepland, A., Makuch, P., Sen, A., von, Ahn C. M.E., Winogradow, A., Saghravani, S.R., *III Konferencja Naukowa Polskich Badaczy Morza pt. „Stan i Trendy Zmian Środowiska Morskiego”*, 7-8.06.2022, Gdynia, Polska

3. Occurrence of pharmaceutical and caffeine residues in coastal ecosystem: Bay of Puck, (southern Baltic Sea) case study. K. Pazdro, **B. Szymczycha**, M. Borecka, A. Białk-Bielińska, G. Siedlewicz, *ICRAPHE, 2nd International Conference on Risk Assessment of Pharmaceuticals in the Environment*, 28-29.11.2019, Barcelona, Hiszpania.

4. SGD as a source of pharmaceuticals to the Bay of Puck, southern Baltic Sea. **Szymczycha B.**, Borecka M., Białk-Bielińska A., *The Baltic Sea Science Congress 2019*, 19-23.08.2019, Sztokholm, Szwecja.

5. Can submarine groundwater discharge be a source of pharmaceuticals to the marine environment? **Szymczycha B.**, Borecka M., Białk-Bielińska A., *ASLO 2019 Aquatic Science Meeting, Planet Water: Challenges and successes*, 24.02.19-01.03.19, San Juan, Puerto Rico

6. Natężenie dopływu SGD do Zatoki Puckiej i czynniki go modyfikujące. **Szymczycha B.**, Kłostowska Ż., Lengier M., Dzierzbicka-Głowacka L., II Konferencja Polskich Badaczy Morza, 24-25 września 2019, Gdynia
7. Modelowanie wpływu gospodarstw rolnych i struktur użytkowania terenu zlewni na przykładzie Gminy Puck na jakość wód lądowych i morskich zlokalizowanych w strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego-Zintegrowany Serwis Informacyjno-predykcyjny WaterPuck. Dzierzbicka-Głowacka L., **Szymczycha B.**, Dybowski D., Janecki M., Nowicki A., Obarska-Pempkowiak H., Zima P., Pietrzak S., Pazikowska-Sapota G., Wojciechowska E., Jaworska-Szulc B., Dembska G., Kłostowska Ż., Szymkiewicz A., Wichorowski M., Białoskórski M., Puzkarczuk T., II Konferencja Polskich Badaczy Morza, 24-25 września 2019, Gdynia
8. Deep Submarine Groundwater Discharge Indicated by Chloride Anomalies in the Sediment Pore Water in the Gulf of Gdańsk, Southern Baltic Sea. **Szymczycha B.**, Kłostowska Ż., Kuliński K., Winogradow A., Jakacki J., Klusek Z., Grabowski M., Brodecka-Goluch A., Graca B., Stokowski M., Koziorowska K., Rak D., Goldschmidt, 12-17.08.2018, Boston, USA.
9. The Exposure Assessment of the Residues of Pharmaceuticals in SGD Area in the Bay of Puck, Southern Baltic Sea. Borecka M., Białk-Bielińska A., **Szymczycha B.**, Goldschmidt, 12-17.08.2018, Boston, USA
10. Deep submarine groundwater discharge indicated by pore water chloride anomalies in the Gulf of Gdańsk, southern Baltic Sea. **B. Szymczycha**, Ż. Kłostowska, K. Kuliński, A. Winogradow, J. Jakacki, Z. Klusek, M. Grabowski, A. Brodecka-Goluch, B. Graca, M. Stokowski, K. Koziorowska, D. Rak, 2nd Baltic Earth Conference: The Baltic Sea Region in Transition, 11 – 15 czerwca 2018, Helsingør, Dania
11. Hydrochemical characterization of SGD in the Bay of Puck, Southern Baltic Sea. Ż. Kłostowska, **B. Szymczycha**, K. Kuliński, M. Lengier, L. Łęczyński, 2nd Baltic Earth Conference: The Baltic Sea Region in Transition, 11 – 15 czerwca 2018, Helsingør, Dania
12. Submarine Groundwater Discharge and its impacts on coastal environments. **Szymczycha B.**, Borecka M., Kłostowska Ż., Lengier M., Baltic Earth Workshop on Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea Region, 26 – 27.11.2018, Tallinn, Estonia-wykład na zaproszenie
13. Hydrochemical characterization of various groundwater and seepage water resources located in the Bay of Puck, Southern Baltic Sea. Kłostowska Ż., **Szymczycha B.**, Kuliński K., Lengier M., Łęczyński L., Baltic Earth Workshop on Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea Region, 26 – 27.11.2018, Tallinn, Estonia
14. Deep submarine groundwater discharge indicated by pore water chloride anomalies in the Gulf of Gdańsk, southern Baltic Sea. **B. Szymczycha**, Ż. Kłostowska, K. Kuliński, A. Winogradow, J. Jakacki, Z. Klusek, M. Grabowski, A. Brodecka-Goluch, B. Graca, M. Stokowski, 25th Salt Water Intrusion Meeting, 17 – 22 czerwca 2018, Gdańsk
15. WaterPUCK - Integrated information and prediction Web Service for the surface water and groundwater located in the Puck District (Poland). Dzierzbicka-Głowacka L., **Szymczycha B.**, Dybowski D., Janecki M., Nowicki A., Kłostowska Ż., Obarska-Pempkowiak H., Zima P., Pietrzak S., Pazikowska-Sapota G., Wojciechowska E., Jaworska- Szulc B., Szymkiewicz A.,

Dembska G., Wichorowski M., Białoskórski M., Puszkarczyk T., 25th Salt Water Intrusion Meeting, 17 – 22 czerwca 2018, Gdańsk

16. Depth of the vadose zone controls aquifer biogeochemical conditions and extent of anthropogenic nitrogen removal. **Szymczycha B.**, Kroeger K.D., Crusius J., Bratton J.F., Goldsmid 2017, 13-18.08.2017, Paryż

17. Czynniki wpływające na usuwanie azotu z wód gruntowych. **Szymczycha B.**, Kroeger K.D., Crusius J., Bratton J.F., I Konferencja Naukowa Polskich Badaczy Morza 2017, 19-20.10.2017, Sopot

18. Znaczenie dopływających wód gruntowych jako źródła związków biogenicznych, węgla i metali ciężkich dla Bałtyku Południowego. **B. Szymczycha**, J. Pempkowiak, III Konferencja GEOEKOSYSTEM WYBRZEŻY MORSKICH , 7-9.06.2017, Międzyzdroje

19. Impact of groundwater discharge along the coast of Poland on the Baltic Sea ecosystem. **Szymczycha B.**, 15th German-Polish Seminar, 11-12.10.2016, Hamburg, Niemcy

20. Groundwater discharge to the southern Baltic Sea. **Szymczycha B.**, Pemkowiak J., 1st Baltic Earth Conference, 13-17.06.2016, Nida, Litwa

21. Groundwater discharge to the southern Baltic Sea. **Szymczycha B.**, Pemkowiak J., Ocean Science Meeting, 21-26.02.2016, Nowy Orlean, USA

22. Groundwater Discharge to the Southern Baltic Sea. **Szymczycha B.**, Janusz P., Center Meeting, USGS, Woods Hole, 2015 – wykład na zaproszenie

23. Znaczenie dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego. **Szymczycha B.**, Pempkowiak J., XI Konferencja “Chemia, Geochemia I Ochrona Środowiska Morskiego. 2014, Sopot, Polska.

### **Literatura:**

Burnett WC, Bokuniewicz HJ, Huettel M, Moore WS, Taniguchi M, 2003. Groundwater and porewater inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry* 66, 3-33.

Burnett WC, Aggarwal PK, Aureli A, Bokuniewicz HJ, Cable JE, Charette MA, Kontar E, Krupa S, Kulkarni KM, Loveless A, Moore WS, Oberdorfer JA, Oliveira J, Ozyurt N, Povinec P, Privitera AMG, Rajar R, Ramessur RT, Scholten J, Stieglitz T, Taniguchi M, Turner JV, 2006. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *Science of the Total Environment* 367, 498-543.

Cai WJ, Wang YC, Krest J, Moore WS, 2003. The geochemistry of dissolved inorganic carbon in a surficial groundwater aquifer in North Inlet, South Carolina, and the carbon fluxes to the coastal ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, 631-639

Charette MA, Sholkovitz ER, 2002. Oxidative precipitation of groundwater-derived ferrous iron in the subterranean estuary of a coastal bay. *Geophysical Research Letters* 29, 1444-1452.

Charette MA, Sholkovitz ER, 2006. Trace element cycling in a subterranean estuary: Part 2. Geochemistry of the pore water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 811-826.

Donis, D. , Janssen, F. , Liu, B. , Wenzhöfer, F. , Dellwig, O. , Escher, P. , Spitz, A. and Böttcher, M. E. (2017): Biogeochemical impact of submarine ground water discharge on coastal surface sands of the southern Baltic Sea , *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 189 , pp. 131-142 . doi: 10.1016/j.ecss.2017.03.003.

Kotwicki L., Grzelak K., Czub M., Dellwig O., Gentz T., Szymczycha B., Böttcher M.E., 2014. Submarine groundwater discharge to the Baltic coastal zone: Impacts on the meiofaunal community. *Journal of Marine Systems* 129: 118–126. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.009.

Kroeger KD, Swarzenski PW, Greenwood JW, Reich C, 2007. Submarine groundwater discharge to Tampa Bay: Nutrient fluxes and biogeochemistry of the aquifer. *Marine Chemistry* 104, 85-97.

Kryza, J , Kryza, H , 2005. The analytic and model estimation of the direct groundwater flow to Baltic Sea on the territory of Poland. *Geologos* 10, 153—166 .

Moore WS, 2010. The Effect of Submarine Groundwater Discharge on the Ocean. *Annual Review of Marine Science* 2, 59-88.

Moosdorf N., Böttcher M.E., Adyasari D., Erkul E., Gilfedder B., Greskowiak J., Jenner A.-K., Kotwicki L., Massmann G., Mueller-Pethke M., Oehler T., Post V., Prien R., Scholten J., Siemon B., von Ahn C.M.E., Walther M., Waska H., Wunderlich, Mallast U. (2021) A state-of-the-art perspective on the characterization of subterranean estuaries at the regional scale. *Frontiers in Earth Sciences*, 9: 601293: 1-26.

Peltonen, K. , 2002. Direct Groundwater Inflow to the Baltic Sea. TemaNord, Nordic Councils of Ministers, Copenhagen, Netherlands, 79 pp

Piekarek-Jankowska, H. , 1994. Zatoka Pucka jako Obszar Drenażu Wód Podziemnych.

Schlüter M, Sauter EJ, Andersen CA, Dahlgard H, Dando PR, 2004. Spatial distribution and budget for submarine groundwater discharge in Eckernförde Bay (Western Baltic Sea). *Limnology and Oceanography* 49, 157-167.

Slomp CP, Van Cappellen P, 2004. Nutrient inputs to the coastal ocean through submarine groundwater discharge: controls and potential impact. *Journal of Hydrology* 295, 64-86.

Szymczycha B., Vogler S., Pempkowiak J., 2012. Nutrient fluxes via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 438:86-93,

Szymczycha B., Miotk M., Pempkowiak J., 2013. Submarine Groundwater Discharge as a source of mercury in the Bay of Puck. *Water, Air, and Soil Pollution* 224:1542, DOI: 10.1007/s11270-013-1542-0. *Wyd. UG, Gdańsk*, 31—32 *Rozp. Monogr.* 204 pp .

Szymczycha B., Maciejewska A., Winogradow A., Pempkowiak J., 2014. Could submarine groundwater discharge be a significant carbon source to the southern Baltic Sea? *Oceanologia* 56: 327-347, DOI: 10.5697/oc.56-2.327.

Taniguchi M., Dulai H., Burnett K. M., Santos I R., Sugimoto R., Stieglitz T., Kim G., Moosdorf N., Burnett William C., 2019. Submarine Groundwater Discharge: Updates on Its Measurement Techniques, Geophysical Drivers, Magnitudes, and Effects. *Frontiers in Environmental Science* 7, DOI=10.3389/fenvs.2019.00141.

Wang, S.-L., Chen, C.-T. A., Huang, T.-H., Tseng, H.-C., Lui, H.-K., Peng, T.-R., i in. (2018). Submarine Groundwater Discharge Helps Making Nearshore Waters Heterotrophic. *Sci. Rep.* 8 (1), 11650. doi:10.1038/s41598-018-30056-x.

### **Badania były realizowane w ramach następujących projektów:**

1. 2016/21/B/ST10/01213, PharmSeepage - Ocena wpływu dopływających wód gruntowych jako źródła pozostałości farmaceutyków dla środowiska morskiego Zatoki Puckiej, 09.02.2017 – 08.06.2020, NCN, OPUS 11, 439 360 PLN. **Kierownik naukowy.**

2. ID: 343927, Modelowanie wpływu gospodarstw rolnych i struktur użytkowania terenu zlewni na przykładzie Gminy Puck na jakość wód lądowych i morskich zlokalizowanych w strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego - Zintegrowany Serwis informacyjno-predykcyjny WaterPUCK, Koordynator projektu: Lidia Dzierzbicka-Głowacka, 01.07.2017 – 30.06.2020, NCBiR, BIOSTRATEG III, 5 587 358 PLN. **Kierownik zadania.**

3. Fulbright Senior Award 2015-2016. **Kierownik naukowy.**

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

Na czwartym roku studiów magisterskich uświadomiłam sobie, iż swoją przyszłość chciałabym związać z pracą naukową. Z tego powodu zaczęłam szukać możliwości zrealizowania swojego marzenia. Udałam się m. in do Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (IO PAN) na rozmowę z prof. dr hab. inż. Januszem Pempkowiakiem, ówczesnym kierownikiem Zakładu Chemii i Biochemii Morza. Pan Profesor zaproponował mi podjęcie badań nad bardzo słabo w



tamtym czasie rozpoznany zjawiskiem, dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego, w ramach międzynarodowego projektu AMBER (Assessment and Modelling of Baltic Ecosystem Response, projekt finansowany w ramach BONUS+). Bardzo spodobała mi się propozycja Profesora, ponieważ wpisywało się to znakomicie w moje wyobrażenie pracy naukowej. Tym samym, zdecydowałam się na wykonanie pracy doktorskiej w Zakładzie Chemii i Biochemii Morza pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Janusza Pempkowiaka. Badania nad dopływem wód podziemnych prowadziłam w strefie brzegowej Zatoki Puckiej w okolicy miasta Hel. Moim zadaniem było zidentyfikowanie miejsc wysięku wód podziemnych, scharakteryzowanie ich składu, natężenia dopływu oraz scharakteryzowanie wpływu dopływu wód podziemnych oraz towarzyszących strumieni wybranych substancji chemicznych na środowisko morskie w okolicy miasta Hel. Zadanie to wykonywałam współpracując z następującymi naukowcami, prof. dr hab. Michaeliem E. Böttcher oraz jego doktorantką Susanne Vogler i dr Olafem Dellwig z Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW) oraz dr hab. Lechem Kotwickim z IO PAN. Dodatkowo prezentowałam otrzymane wyniki badań na licznych spotkaniach projektowych, podczas których miałam okazję zapoznać doświadczonych naukowców i doktorantów z którymi ciągle utrzymuje współpracę (m.in. z dr. Mindaugasem Žilius z Uniwersytetu w Kłajpedzie obecnie przygotowujemy aplikację projektową na temat obiegu azotu w Morzu Bałtyckim). Dodatkowo wzięłam udział w kursach naukowych organizowanych w ramach projektu AMBER: Time Series Analysis and Modelling of Environmental Data (Seili, Finlandia) oraz Summer School on Stable Isotope Analysis in Biogeochemistry: with focus on the Baltic Sea and its catchment (Sztokholm, Szwecja). W ramach nawiązanej współpracy oraz realizacji doktoratu powstało 6 manuskryptów opublikowanych w czasopiśmie naukowych, 10 prac opublikowanych w materiałach pokonferencyjnych oraz wyniki zostały zaprezentowane na 12 konferencjach podczas studiów doktoranckich (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4). Ponadto, podczas wykonywania pracy doktorskiej otrzymałam dodatkowe fundusze na prowadzenie badań w ramach projektu: NN306 383739, Określenie natężenia przepływu i składu chemicznego wody wysiękowej w rejonie Zatoki Puckiej (15.09.2010 – 16.09.2013).

Bardzo ciekawym przedsięwzięciem okazało się wzięcie udziału w międzynarodowym projekcie „StarDust - The Strategic Project on Trans-national Commercial Activities in Research & Innovation, Clusters and in SME-Networks” w latach 2010-2013. W ramach tego projektu przez 3 lata odbyłam szereg spotkań roboczych z przedstawicielami biznesu i nauki: m.in. z dr hab. Mirkiem Dareckim z IOPAN, dr Johanną Kilpi-Koski z Lahti Science and Business Park, Antią Herlavi z Green Net Finland, Silją Kostia z Lahti University of Applied Sciences oraz Ann-Christiną Bayard z Sustainable Sweden Southeast w celu opracowania strategii nowej inicjatywy rozwiązującej problemy środowiskowe, w naszym przypadku oczyszczalni ścieków. W wyniku tej współpracy zostałam poproszona o wygłoszenie wykładów: pod tytułem „Coastal monitoring strategy” na 20th Annual Conference w Lillestrom, Norwegia (2012) oraz pod tytułem „The Baltic Sea: a sea full of chemicals” na Linnaeus ECO-TECH w Kalmar, Szwecja (2012).

Kluczowym dla mojego rozwoju naukowego wydarzeniem było wzięcie udziału w konferencji Land-Ocean Connectivity - from Hydrological to Ecological Understanding of Groundwater Effects in the Coastal Zone w Brest, Francji w dniach 25-27.09.2012, zorganizowanej w ramach projektu EGOMARS (Land-Ocean Connectivity - from

Hydrological to Ecological Understanding of Groundwater in the Coastal Zone). Ta interdyscyplinarna konferencja zgromadziła naukowców specjalizujących się w różnych badaniach przybrzeżnych wód podziemnych (np. fizyków, chemików, geologów, hydrologów). Celem konferencji było omówienie stanu wiedzy i zaprojektowanie przyszłych eksperymentów, które pomogą pogłębić zrozumienie powiązań hydrologiczno-ekologicznych w strefie przybrzeżnej. Podczas tej konferencji zapoznałam kluczowych naukowców zajmujących się dopływem wód podziemnych do środowiska morskiego m.in. Thomasem Stieglitz (CNRS / IUEM, Francja), Williamem C. Burnett (Florida State University, USA), Makotą Taniguchi (Research Institute of Humanity and Nature, Japan), Carlosem Rocha (Trinity College, Ireland) oraz Kevinem D. Kroeger (USGS, USA). W wyniku tego wyjazdu zdecydowałam się na znalezienie funduszy na odbycie naukowego stażu w USGS, USA w celu pogłębienia wiedzy na temat znaczenia dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego oraz procesów wpływających na przemiany geochemiczne zachodzące podczas dopływu wód podziemnych.

Po otrzymaniu stopnia doktora odebrałam nagrodę Fulbright Senior Award 2015-2016 dzięki której udałam się na 9-miesięczny staż podoktorski do Kevina D. Kroeger (USGS, USA). Podczas stażu zajmowałam się badaniami nad dopływem wód podziemnych, a w szczególności transportem azotu z wodami podziemnymi do Nantucket Sound, Long Island Sound oraz Great South Bay. Zgłębiłam technikę analizy azotu ( $N_2$ ) i argonu (Ar) za pomocą spektrometrii mas z wlotem membranowym, którą wykorzystywałam do oszacowania potencjału denitryfikacyjnego w wodach podziemnych transportowanych do środowiska morskiego. W wyniku stażu podoktorskiego przygotowałam dwa manuskrypty (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4). Dodatkowo otrzymane przeze mnie wyniki zostały opublikowane w raportach USGS. Wygłosiłam wykład na zaproszenie pod tytułem „Groundwater Discharge to the Southern Baltic Sea” podczas Center Meeting, USGS, Woods Hole, 2015. Dodatkowo otrzymane wyniki zaprezentowałam na 6 konferencjach naukowych. Wiedzę zdobytą podczas stażu podoktorskiego wykorzystałam w swojej dalszej karierze naukowej m. in. zdobyłam finansowanie na badania poświęcone scharakteryzowaniu wpływu dopływających wód podziemnych jako źródła pozostałości farmaceutyków dla środowiska morskiego Zatoki Puckiej (2016/21/B/ST10/01213, OPUS); zdobyłam fundusze na zakup spektrometru mas z wlotem membranowym w ramach projektu „WaterPUCK” (343927, Modelowanie wpływu gospodarstw rolnych i struktur użytkowania terenu zlewni na przykładzie Gminy Puck na jakość wód lądowych i morskich zlokalizowanych w strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego - Zintegrowany Serwis informacyjno-predykcyjny WaterPUCK, NCBiR, BIOSTRATEG III, Kierownik: Prof. Lidia Dzierzbicka-Głowacka) w celu kontynuacji badań nad denitryfikacją oraz anammox zarówno w wodach podziemnych dopływających do Morza Bałtyckiego ale również w osadach i kolumnie wody Morza Bałtyckiego. W ramach obu projektów ściśle współpracowałam z prof. dr hab. Lidią Dzierzbicką-Głowacką, IO PAN; prof. dr hab. inż. Adamem Szymkiewiczem, Politechnika Gdańska (PG); dr hab. inż. Beatą Jaworską-Szulc (PG), dr hab. Małgorzatą Pruszkowską-Caceres; dr hab. inż. Piotrem Zimą (PG); prof. dr hab. inż. Ewą Wojciechowską (PG); dr hab. Grażyną Pazikowską-Sapotą, Instytut Morski, dr hab. inż. Stefanem Pietrzakiem, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Tadeuszem Puszkarczukiem, Urząd Gminy Puck; dr hab. inż. Anną Białk-Bielińską, Uniwersytet Gdański (UG); dr Dorotą Zarzeczanską (UG) oraz naukowcami z IO

PAN (m.in. prof. dr hab. Ksenią Pazdro oraz dr Grzegorzem Siedlewiczem). W wyniku wspólnie prowadzonych badań powstały 4 publikacje oraz otrzymane wyniki zostały zaprezentowane na 8 konferencjach (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4). Co więcej dalej prowadzę badania nad dopływem wód podziemnych do Zatoki Puckiej (współpracując z dr Maciejem Matciakiem (UG) oraz prof. dr hab. Michaeliem E. Böttcher (IOW)).

W kolejnych etapach naukowej działalności postanowiłam dalej rozwijać swoje główne zainteresowania naukowe: badania związane z 1) dopływem wód podziemnych oraz 2) cyklem obiegu azotu. Ad 1) Zdobyłam finansowanie na prowadzenie badań nad dopływem wód podziemnych w słabo jak dotąd rozpoznanych rejonach świata, a mianowicie w Arktyce. Projekt ArcticSGD (Dopływ Wód Gruntowych w Zmieniającej się Arktyce: Zasięg i Wpływ Biogeochemiczny, 2020 - 2023, The Norway Grants and the EEA Grants, NCN-GRIEG) jest poświęcony zidentyfikowaniu miejsc wysięgu wód podziemnych w rejonie Spitsbergenu oraz Lofotów, ustaleniu czynników kontrolujących dopływ wód podziemnych, zmierzeniu natężenia dopływu wód podziemnych oraz towarzyszących substancji chemicznych, zbadaniu wpływu na organizmy bentosowe i ekosystem morski. Projekt prowadzę wspólnie z dr Aivem Lepland, Geological Survey of Norway; dr Jochenem Knies, Geological Survey of Norway; Arunimą Sen, Nord University, UNIS; dr Wei Li Hong, Stockholm University, Michaeliem E. Böttcher, IOW oraz naukowcami z IO PAN (m.in dr hab Karolem Kulińskim, dr hab. Lechem Kotwickim, dr Katarzyną Koziorowską-Makuch, dr Magdaleną Diak oraz dr Przemysławem Makuchem). Wyniki projektu jak dotąd zostały opublikowane w 1 manuskrypcie oraz zaprezentowane na 3 konferencjach (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4). Ad 2) Uzyskałam finansowanie na prowadzenie badań dotyczących zbadaniu sezonowej zmienności denitryfikacji i anammox w kolumnie wody morskiej i osadzie Morza Bałtyckiego. Projekt IDEAL (2019/34/E/ST10/00217, Zbadanie sezonowej zmienności denitryfikacji i anammox w kolumnie wody morskiej i osadzie Morza Bałtyckiego. 2020 –2024, NCN SONATA BIS 9) charakteryzuje się interdyscyplinarnym podejściem dzięki wykorzystaniu metod chemicznych, mikrobiologicznych oraz molekularnych. W ramach projektu współpracuje z dr hab. inż. Anetą Łuczkiewicz (PG), prof. dr hab. Grzegorzem Węgrzynem (UG) oraz naukowcami z IO PAN ( m.in. dr Ewą Kotlarską, dr hab Karolem Kulińskim, dr Katarzyną Koziorowską-Makuch, dr Magdaleną Diak oraz dr Przemysławem Makuchem). Wyniki projektu jak dotąd zostały zaprezentowane na 4 konferencjach (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4).

Zarówno podczas wykonywania pracy doktorskiej jak i po uzyskaniu stopnia doktora angażowałam się w liczne współprace związane z głównym tematem moich naukowych zainteresowań, ale również z funkcjonowaniem środowiska Morza Bałtyckiego. W wyniku tej działalności powstało 11 manuskryptów (szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w załączniku nr. 4).

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

### **Osiągnięcia dydaktyczne:**

- W 2023 roku poprowadziłam 2h wykład dla doktorantów z Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej, Trójmiejskiej Szkoły Doktorskiej oraz szkoły Geoplanet po tytule „Marine chemistry”.
- W 2022 roku poprowadziłam 2h wykład dla doktorantów z Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej, Trójmiejskiej Szkoły Doktorskiej oraz szkoły Geoplanet po tytule „Marine chemistry”.
- W 2021 roku poprowadziłam 2h seminarium dla doktorantów z Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej, Trójmiejskiej Szkoły Doktorskiej oraz studium Geoplanet po tytule „Geochemical studies of seas and oceans”.
- W 2020 roku prowadziłam zajęcia ze studentami z Międzynarodowej Środowiskowej Szkoły Doktorskiej (1 x 3h) pod tytułem „Geochemical studies of seas and oceans part II”. W tym samym roku poprowadziłam 2h wykład dla studentów Uniwersytetu Gdańskiego Wydziału Oceanografii i Geografii pod tytułem „Dopływ wód gruntowych jako czynnik wpływający na obieg substancji chemicznych – znaczenie globalne i lokalne”.
- W semestrach zimowych 2018/2019 oraz 2019/2020 prowadziłam zajęcia (2 x 2h) ze studentami Studium Doktoranckiego IO PAN z przedmiotu „Wybrane zagadnienia z chemii morza”.
- W ramach projektu „Podnoszenie kompetencji uczniowskich w dziedzinie nauk matematyczno-przyrodniczych i technicznych z wykorzystaniem innowacyjnych metod i technologii- EDU SCIENCE” w latach 2011-2014 prowadziłam lekcje i zajęcia terenowe z uczniami szkół podstawowych, gimnazjów, techników i liceów.

### **Sprawowanie opieki nad praktykantami i stażystami:**

- Praktykant, Uniwersytet Gdański, 20-29.04.2022 (Rejs statkiem badawczym „Oceania”).
- Stażysta, Uniwersytet Gdański, Termin stażu 04.07.2022-29.07.2022.
- Stażysta, CKZiU (Centrum Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego) nr 2 w Gdańsku, Termin stażu 06.06.-07.07.2022.
- Stażysta, Instytut Oceanografii, UG, Termin stażu: 02.08.2018 - 12.09.2018.
- Praktykant, Politechnika Gdańska, Termin stażu: 1.07.2019-26.07.2019.

### **Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę:**

- W ramach koordynowania i upowszechniania wyników międzynarodowego projektu pod tytułem ArcticSGD zorganizowałam seminarium naukowe dla studentów i doktorantów poświęcone najnowszym badaniom prowadzonym w Arktyce, zmian klimatu oraz dopływu wód podziemnych do środowiska morskiego pod tytułem „Arctic research, climate change and submarine groundwater discharge”. Seminarium odbyło się w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie 7.12.2022. W ramach seminarium wystąpiło 8 prelegentów, w tym 3 z zagranicy. W seminarium wzięło udział 45 studentów i doktorantów z Uniwersytetu Gdańskiego, Politechniki Gdańskiej oraz Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk.
- W ramach Sopockiego Pikniku Naukowego pod tytułem „Ocean Zmian” prezentowałam założenia koordynowanych projektów ArcticSGD oraz IDEAL: 11.06.2022.
- W ramach Sopockiego Dnia Nauki brałam udział w przeprowadzaniu eksperymentów chemicznych dla dzieci i młodzieży w latach 2011-2015.

- W ramach Bałtyckiego Festiwalu Nauki brałam udział w przeprowadzaniu eksperymentów chemicznych dla dzieci i młodzieży w latach 2009-2011.
- W ramach koordynowania projektów zakończonych: Pharmseepage oraz obecnie realizowanych: IDEAL oraz ArcticSGD kieruje zespołami badawczymi w tym opiekuje się dwoma doktorantami.

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

#### **Otrzymane nagrody:**

##### **Po otrzymaniu stopnia doktora:**

2017	Wybitny Młody Naukowiec, Stypendium przyznane przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
2015	Fulbright Senior Award 2015-2016.
2015	Nagroda naukowa Wydziału III PAN im. Maurycego Piusa Rudzkiego.
2014	Nagroda Dyrektora Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk za osiągnięcia publikacyjne.

##### **Przed otrzymaniem stopnia doktora:**

2013	Nagroda Dyrektora Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk za osiągnięcia publikacyjne.
2011	“InnoDoktorant – stypendium dla doktorantów”, III edycja.

##### **Szkolenia i studia podyplomowe:**

2015	„Statistica” dla Początkujących, Kraków, Polska.
2010	Stable Isotope Analysis in Biogeochemistry, with focus on the Baltic Sea and its catchment, Sztokholm, Szwecja.
2010	Studia podyplomowe pt; „Nowoczesne metody analityczne z elementami diagnostyki molekularnej”, Uniwersytet Gdański, Gdańsk, Polska.
2010	Kurs naukowy, Stable Isotope Analysis in Biogeochemistry, with focus on the Baltic Sea and its catchment, Sztokholm, Szwecja.
2009	Kurs naukowy, NMA Advanced course: Climate Impacts on the Baltic Sea – from science to policy, Bornholm, Dania.
2009	Kurs naukowy, Time Series Analysis and Modeling of Environmental Data, Seili, Finlandia.

##### **Kierownik rejsów naukowych na r/y Oceania**

6 rejsów bałtyckich w latach 2020-2022 w ramach realizacji projektu IDEAL

.....  
(podpis wnioskodawcy)