

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Ul. J. K. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,
wybranego do przeprowadzenia postępowania)
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Krystyna Koziol

(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
(Wydział Nauk Geograficznych)
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 27.08.2026

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk ścisłych i przyrodniczych* w dyscyplinie *nauk o Ziemi i środowisku*

Wnoszę – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu ~~tajnym~~/jawnym¹

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

¹ * Niepotrzebne skreślić.

Załączniki:

- **Załącznik nr 1** – Dane Wnioskodawcy
- **Załącznik nr 2** – Autoreferat,
- **Załącznik nr 3** – Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych,
- **Załącznik nr 4** – Oświadczenia współautorów o wkładzie w publikacje wchodzące w skład cyklu artykułów naukowych pt. „Badanie zróżnicowania przestrzennego i czasowego zawartości składników chemicznych w pokrywie śnieżnej jako narzędzie służące do rozróżniania ich źródeł pierwotnych i wtórnych w Arktyce” (**główne osiągnięcie**)
- **Załącznik nr 5** – Oświadczenia habilitanta dotyczące wszystkich publikacji ujętych w *Autoreferacie* (Załącznik nr 2) oraz *Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych* (Załącznik nr 3) pod numerami **H1 – H32**, powstałych po otrzymaniu stopnia doktora.
- **Załącznik nr 6** – Dyplom potwierdzający uzyskanie stopnia doktora – skan dyplomu uzyskanego w University of Sheffield (skan dyplomu poświadczony podpisem wnioskodawcy).
- **Załącznik nr 7** – Tłumaczenie przysięgłe do dyplomu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora, sporządzone na podstawie oryginału (skan tłumaczenia poświadczony podpisem wnioskodawcy).



.....
(podpis wnioskodawcy)

Załącznik nr 2:

Autoreferat

1. Imię i nazwisko:

Krystyna Anna Koziol

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

2015 r. - stopień naukowy doktora; Uniwersytet w Sheffield w Wielkiej Brytanii (Katedra Geografii); **tytuł rozprawy doktorskiej:** *The provenance, composition and fate of organic carbon on an Arctic glacier*. Promotorzy: Prof. Andrew Hodson, Dr Helen Moggridge, Prof. Carl E. Bøggild. Egzaminatorzy: Dr Andrew Sole (egzaminator wewnętrzny), Prof. Martyn Tranter (egzaminator zewnętrzny).

2010 r. – dyplom magistra geografii (specjalność: kształtowanie i ochrona środowiska), **Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk o Ziemi; temat pracy:** *Skład chemiczny opadów atmosferycznych w Hornsundzie (Spitsbergen) jako wskaźnik zanieczyszczenia środowiska polarnego*. Promotor: dr hab. Jacek Rózkowski, recenzent: dr hab. Wiesława Ewa Krawczyk.

2008 – dyplom licencjata geografii; Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk o Ziemi; temat pracy: *Opady atmosferyczne na Svalbardzie na tle zmian klimatu*. Promotor: dr Wiesława Ewa Krawczyk.

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

Zatrudnienie na umowę o pracę:

2022-obecnie - adiunkt w Katedrze Przemian Środowiska i Geochemii, Wydział Nauk Geograficznych, **Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy**

2021-2022 - adiunkt w Katedrze Geografii Krajobrazu, Instytut Geografii, **Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy**

2018-2021 - adiunkt (wcześniej: asystent ze stopniem naukowym doktora) w Katedrze Chemii Analitycznej, na Wydziale Chemicznym **Politechniki Gdańskiej**, kierownik projektu NCN Sonata nr 2017/26/D/ST10/00630

2017-2018 - adiunkt w Zakładzie Ekorozwoju i Kształtowania Środowiska Geograficznego, w Instytucie Geografii **Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie**

2015-2016 - zastępca kierownika wyprawy ds. naukowych, specjalista ds. monitoringu środowiska w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Svalbardzie, **Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk**

Zatrudnienie na umowy cywilnoprawne:

2024-2025 – wykonawca (asystent terenowy) w projekcie SONATINA finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2023/48/C/ST10/00167, kierownik: dr Joanna Potapowicz) w Pracowni Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Katedrze Hydrologii, na Wydziale Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego,

2013-2016 - kierownik projektu PRELUDIUM, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2012/05/N/ST10/02848) w Katedrze Chemii Analitycznej, na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej,

2011-2014 - Asystent na zajęciach terenowych i laboratoryjnych, wykładowca na zajęciach terenowych, egzaminator, pracownik techniczny laboratorium w Katedrze Geografii Uniwersytetu w Sheffield (Wielka Brytania)

2011-2012 - Asystent terenowy na kursie uniwersyteckim, Uniwersyteckie Centrum na Svalbardzie (UNIS; Norwegia)

2009-2010 - staż w programie UPGOW – Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej:

Tytuł osiągnięcia:

Badanie zróżnicowania przestrzennego i czasowego zawartości składników chemicznych w pokrywie śnieżnej jako narzędzie służące do rozróżniania ich źródeł pierwotnych i wtórnych w Arktyce

Jako moje **główne osiągnięcie** naukowe, o którym 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.) referuję cykl powiązanych tematycznie siedmiu artykułów naukowych opublikowanych w latach 2017-2023 w czasopismach reprezentujących dyscyplinę nauki o Ziemi i środowisku, indeksowanych w bazach Web of Science i Scopus, wymienionych w załączniku do *Komunikatu Ministra Nauki z dnia 05 stycznia 2024 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych*.

Spis bibliograficzny pozycji wchodzących w skład głównego osiągnięcia:

H1. Koziol, K., Kozak, K., Polkowska, Ż., **2017.** Hydrophobic and hydrophilic properties of pollutants as a factor influencing their redistribution during snowpack melt, *Science of the Total Environment*, 596–597, 158–168, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.061

H2. Koziol, K.A., Moggridge, H.L., Cook, J.M., Hodson, A.J. 2019. Organic carbon fluxes of a glacier surface: A case study of Foxfonna, a small Arctic glacier, *Earth Surface Processes and Landforms* 44 (2), 405-416, doi: 10.1002/esp.4501.

H3. Koziol, K., Uszczyk, A., Pawlak, F., Frankowski, M., Polkowska, Z., **2021**. Seasonal and Spatial Differences in Metal and Metalloid Concentrations in the Snow Cover of Hansbreen, Svalbard. *Frontiers in Earth Science* 8, 538762, doi: 10.3389/feart.2020.538762.

H4. Pawlak F., Koziol K., Polkowska Z., **2021**. Chemical hazard in glacial melt? The glacial system as a secondary source of POPs (in the Northern Hemisphere). A systematic review, *Science of the Total Environment*, 778, 145244, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145244.

H5. Barbaro, E., Koziol, K., Björkman, M.P., Vega, C.P., Zdanowicz, C., Martma, T., Gallet, J.-C., Kępski, D., Larose, C., Luks, B., Tolle, F., Schuler, T. V, Uszczyk, A., Spolaor, A., **2021**. Measurement report: Spatial variations in ionic chemistry and water-stable isotopes in the snowpack on glaciers across Svalbard during the 2015–2016 snow accumulation season. *Atmospheric Chemistry and Physics* 21, 3163–3180, doi: 10.5194/acp-21-3163-2021.

H6. Pawlak, F., Koziol, K.A., Kosek, K., Polkowska, Z., **2022**. Local variability in snow concentrations of chlorinated persistent organic pollutants as a source of large uncertainty in interpreting spatial patterns at all scales. *Journal of Environmental Quality* 51, 411–424, doi: 10.1002/jeq2.20343.

H7. Pawlak, F.*, Koziol, K.*, Frankowski, M., Nowicki, Ł., Marlin, C., Sulej-Suchomska, A.M., Polkowska, Z., **2023**. Sea spray as a secondary source of chlorinated persistent organic pollutants? - Conclusions from a comparison of seven fresh snowfall events in 2019 and 2021. *Science of the Total Environment* 891, 164357, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164357

*równy wkład autorski = równorzędne pierwsze autorstwo

Poz.	Skrócony opis bibliograficzny publikacji	Liczba cytowań wg Web of Science / Scopus / Google Scholar	Ranga czasopisma wg rankingu SJR – Scientific Journal Rankings – kwartył (Q) dla najlepszej dyscypliny	Liczba punktów ¹	IF ²
H1	<u>Koziol, K.</u> , Kozak, K. i Polkowska, Z., 2017 . Sci. Total Environ., 596–597, 158–168.	18 / 19 / 23	Q1 – Environmental Chemistry	200	4.610 / 8.7
H2	<u>Koziol, K.A.</u> , Moggridge, H.L., i in. 2019 . Earth Surf. Process. Landf. 44 (2), 405-416.	19 / 20 / 29	Q1 – Earth and Planetary Sciences	100	3.694 / 3.3
H3	<u>Koziol, K.</u> , Uszczyk, A., i in., 2021 . Front. Earth Sci. 8, 538762.	20 / 21 / 25	Q1 – Earth and Planetary Sciences	100	3.661 / 2.4
H4	Pawlak, F., <u>Koziol, K.</u> , i Polkowska, Z., 2021 . Sci. Total. Environ., 778, 145244.	56 / 63 / 75	Q1 – Environmental Chemistry	200	10.753 / 8.7

H5	Barbaro, E., Koziol, K. , i in., 2021. Atmos. Chem. Phys. 21, 3163–3180.	18 / 18 / 27	Q1 – Atmospheric Science	140	7.197 / 5.8
H6	Pawlak, F., Koziol, K.A. , i in., 2022.. J. Environ. Qual. 51, 411–424.	5 / 5 / 6	Q2 – Environmental Engineering	100	2.4 / 2.8
H7	Pawlak, F.*, Koziol, K.* , i in., 2023. Sci. Total Environ. 891, 164357. *równorzędne pierwsze autorstwo	11 / 12 / 15	Q1 – Environmental Chemistry	200	8.2 / 8.7

Artykuły podano w kolejności chronologicznej (jak wyżej). Dane naukometryczne aktualne na dzień 17.08.2026 r. Wszystkie prace udostępniono w modelu publikacyjnym Open Access.

¹ Punktację czasopism podano wg najbardziej aktualnego w dniu złożenia wniosku załącznika do Komunikatu Ministra Nauki z dnia 05 stycznia 2024 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.

² Współczynnik wpływu *impact factor* (IF) podano w roku publikacji artykułu, a po ukośniku najbardziej aktualny dostępny 5-letni współczynnik wpływu IF dla danego czasopisma.

Podsumowanie wkładu autorskiego dr Krystyny Anny Koziol dla cyklu artykułów stanowiącego referowane główne osiągnięcie naukowe i ich nowości naukowej

H1. **Koziol, K.**, Kozak, K., Polkowska, Ż., 2017. **Hydrophobic and hydrophilic properties of pollutants as a factor influencing their redistribution during snowpack melt**, Sci. Total Environ., 596–597, 158–168, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.061.

Wkład autorski:

Przygotowanie koncepcji badań, przeprowadzenie badań terenowych, opracowanie danych i ich interpretacja oraz opis pozyskanych danych; w tym przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na pytania recenzentów. Koncepcja analizy stężeń różnych związków chemicznych (związków organicznych), różniących się właściwościami w zakresie hydrofobowości, w topniejącej pokrywie śnieżnej arktycznego lodowca, jest w całości mojego autorstwa. Stanowiła ona kluczowy element realizacji projektu badawczego *Global defrosting* (grant NCN PRELUDIUM nr 2012/05/N/ST10/02848), którego byłam kierownikiem. Mój wkład obejmował zatem również pozyskanie finansowania.

Nowość naukowa:

Przeprowadzenie obserwacji terenowych aspektu migracji związków w pokrywie śnieżnej Arktyki, który dotąd był opisywany jedynie na podstawie modeli laboratoryjnych. Dzięki zaplanowaniu badań terenowych obejmujących aspekt przestrzenny i czasowy, związany z topnieniem pokrywy śnieżnej na arktycznym lodowcu, zaobserwowano specyficzne zachowanie związków chemicznych, w szczególności z grupy WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych) w topniejącej pokrywie śnieżnej i w formującym się pod nią lodzie nałożonym, w którym stwierdzono akumulację niektórych związków z tej grupy. Lód nałożony może zatem stać się wtórnym źródłem zanieczyszczeń, kiedy nastąpi jego topnienie. Notabene, na lodowcach politermalnych lód nałożony występuje powszechnie i odgrywa znaczącą rolę w ich bilansie energetycznym; w badaniach z wczesnych lat 2000. pokazano również, że lód nałożony był bardzo istotnym składnikiem akumulacji w bilansie masy tych lodowców.

Wkład naukowy w dyscyplinę to potwierdzenie w warunkach terenowych prawidłowości dotyczących migracji w pokrywie śnieżnej związków organicznych o różnym stopniu

hydrofobowości (znanych z badań laboratoryjnych Meyer i in. 2010, 2011), a także wyróżnienie rozbieżności między prognozami na podstawie badań laboratoryjnych i faktycznym przebiegiem migracji w pokrywie śnieżnej w terenie. Nowe procesy zaobserwowano również na poziomie zwierciadła wody w pokrywie śnieżnej, gdzie miało miejsce wzbogacenie w związki takie jak fluoren i piren (z grupy WWA). Procesy związane z ponownym zamarzaniem mogą mieć istotne znaczenie dla interpretacji stężeń zanieczyszczeń organicznych w zaburzonych przez topnienie rdzeniach lodowych, a także dla interpretacji składu materii organicznej wytapiającej się z lodowców, na których akumulacja obejmuje powstawanie lodu nałożonego.

H2. **Koziol, K.A.,** Moggridge, H.L., Cook, J.M., Hodson, A.J. 2019. **Organic carbon fluxes of a glacier surface: A case study of Foxfonna, a small Arctic glacier**, *Earth Surface Processes and Landforms* 44 (2), 405-416, doi: 10.1002/esp.4501.

Wkład autorski:

Przygotowanie koncepcji badań, przeprowadzenie badań terenowych, opracowanie danych i ich interpretacji oraz opis pozyskanych danych; w tym przygotowanie manuskryptu oraz odpowiedzi na pytania recenzentów. Pozyskałam także finansowanie badań z kilku mniejszych grantów, których byłam kierownikiem (Geography Postgraduate Fieldwork Bursary – od University of Sheffield Centenary Fund, Arctic Field Grant – od Norweskiej Rady Naukowej, grant na badania terenowe od Gilchrist Educational Trust, oraz Henrietta Hutton Research Grant – od Królewskiego Towarzystwa Geograficznego w Londynie). Przedmiotem pracy było określenie zróżnicowania przestrzennego depozycji węgla organicznego w pokrywie śnieżnej małego lodowca na Svalbardzie i zbilansowanie depozycji atmosferycznej z innymi procesami dostarczającymi i odprowadzającymi węgiel organiczny do i z powierzchni lodowca. Procesy te obejmowały produkcję biologiczną, wytapianie się węgla z lodu lodowcowego (w związku z ujemnym bilansem masy lodowca), a także usuwanie węgla z powierzchni lodowca w odpływie powierzchniowym (w ciekach supra- i dalej proglacialnych). Zastosowane podejście umożliwiło określenie relacji źródła atmosferycznego materii organicznej na arktycznym lodowcu do innych procesów w obiegu węgla organicznego, w tym zidentyfikowanie luk w istniejącej wiedzy. Praca miała związek z badaniami do pracy doktorskiej złożonej na Uniwersytecie w Sheffield, została jednak przed publikacją poprawiona i udoskonalona. Badania te stanowią podwalinę mojej aktywności naukowej związanej z materią organiczną i zanieczyszczeniami organicznymi w pokrywie śnieżnej na lodowcach Svalbardu i w związku z tym stanowi również element osiągnięcia habilitacyjnego.

Nowość naukowa:

Przeprowadzenie intensywnych badań terenowych, które obejmowały (między innymi) pomiary ekwiwalentu wodnego śniegu oraz pobranie próbek w celu analizy zawartości węgla organicznego w pokrywie śnieżnej na lodowcu, w okresie dwóch lat bilansowych. Rozmieszczenie w przestrzeni punktów pomiarowych umożliwiło oszacowanie całkowitej depozycji węgla organicznego na powierzchni lodowca. Bilansowanie ze źródłem biologicznym, a także z wtórnym źródłem z topnienia lodu lodowcowego oraz z procesami usuwającymi węgiel organiczny z powierzchni lodowca umożliwiło wyciągnięcie wniosków dotyczących skali i proporcjonalności procesów regulujących obieg węgla organicznego w arktycznym lodowcu. Badania te wskazały na ilościowe znaczenie materii organicznej wytapiającej się na powierzchni lodowców w wyniku ujemnego bilansu masy, a także umożliwiły zidentyfikowanie luki w wiedzy o wpływie procesów epizodycznych czy formowania się lodu nałożonego na obieg węgla w lodowcach Arktyki. Materia organiczna zgromadzona na powierzchni lodowca i nierównowaga jej dostaw względem usuwania może

mieć istotny wpływ na albedo powierzchni lodowca, a zatem pośrednio także na bilans masy lodowca.

H3. **Koziol, K.,** Uszczyk, A., Pawlak, F., Frankowski, M., Polkowska, Z., 2021. **Seasonal and Spatial Differences in Metal and Metalloid Concentrations in the Snow Cover of Hansbreen, Svalbard.** *Front. Earth Sci.* 8, 538762, doi: 10.3389/feart.2020.538762.

Wkład autorski:

Przygotowanie koncepcji badań, analizy statystycznej i interpretacji oraz opisu pozyskanych danych, w tym w przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na pytania recenzentów. Realizacja w ramach projektu badawczego *Sea-snow POPs* (grant NCN SONATA nr 2017/26/D/ST10/00630), którego byłam kierownikiem, a zatem mój wkład obejmował także pozyskanie finansowania (na zatrudnienie swoje i doktoranta-stypendysty w projekcie, obecnie dra inż. Filipa Pawlaka). Koncepcja interpretacji zróżnicowania stężeń metali i metaloidów w pokrywie śnieżnej lodowca w aspekcie zarówno przestrzennym, jak i czasowym (fragmenty rdzenia śnieżnego odpowiadające kolejnym porom roku) jest mojego autorstwa. Podobnie mojego autorstwa są wnioski dotyczące istotności poszczególnych źródeł metali i metaloidów w depozycji atmosferycznej na Lodowcu Hansa w aspekcie przestrzennym i sezonowym, wyciągnięte na podstawie analizy przestrzennej i statystycznej, a także ich odniesienie do składu mineralogicznego skał podłoża na obszarze badań.

Nowość naukowa:

Pozyskanie danych o stężeniach pierwiastków chemicznych (metali i metaloidów) w warstwach sezonowych profilu pokrywy śnieżnej na Lodowcu Hansa i wyciągnięciu na ich podstawie wniosków o źródłach substancji chemicznych transportowanych drogą atmosferyczną – ich zmienności w przestrzeni i czasie. Dzięki zastosowanej wielowymiarowej analizie statystycznej (analiza skupień/klastrowa/wiązkowa), wyróżniłam trzy główne grupy pierwiastków ze względu na źródło pochodzenia (aerozol morski, źródła geogeniczne i antropogeniczne). Dzięki mapom sporządzonym przez współautora Aleksandra Uszczyka możliwe było określenie typowego zróżnicowania przestrzennego i czasowego dla tych źródeł. Ustalono m.in. istotny wkład aerozolu morskiego w sezonie wiosennym i powiązania stężeń charakterystycznych dla jego wpływu pierwiastków z odległością od otwartej wody morskiej.

H4. Pawlak F., **Koziol K.,** Polkowska Z., 2021. **Chemical hazard in glacial melt? The glacial system as a secondary source of POPs (in the Northern Hemisphere). A systematic review,** *Sci. Total. Environ.*, 778, 145244, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145244.

Wkład autorski:

Wkład w przygotowanie koncepcji badań– systematycznego przeglądu literatury w ujęciu kompleksowym dla systemów lodowcowych półkuli północnej; praca ta stanowiła również rozpoznanie literatury w toku badań w projekcie badawczym *Sea-snow POPs* (grant NCN SONATA nr 2017/26/D/ST10/00630), którego byłam kierownikiem (pozyskanie finansowania dla siebie i stypendysty). Wkład w zakresie analizy i opisu pozyskanych danych, włącznie z przygotowaniem manuskryptu i odpowiedzi na pytania recenzentów. Moja rola w przygotowaniu pracy polegała m.in. na: przygotowaniu diagramu konceptualnego obiegu związków z grupy TZO w systemie lodowcowym, przeglądzie danych literaturowych dotyczących miąższości lodu lodowcowego odpowiadającej okresowi depozycji wybranych związków z grupy TZO, a także na interpretacji wszystkich danych zebranych w pracy, w kontekście przestrzennym oraz ścieżek cyrkulacji atmosferycznej. Podczas pisania manuskryptu, uwzględniłam w szczególności procesy zachodzące

w pokrywie śnieżnej podczas jej degradacji, a także wpływ czynników atmosferycznych na depozycję związków z grupy TZO poprzez pokrywę śnieżną. Podsumowałam również istniejące do chwili przygotowania pracy modele transportu atmosferycznego i frakcjonowania w środowisku związków z grupy TZO. Jako jedyna autorka z dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, wniosłam wkład polegający na uwzględnieniu aspektów geograficznych (przestrzennych i czasowych), mających wpływ na kształt całej pracy.

Nowość naukowa:

Systematyczne zebranie i opracowanie danych o stężeniach związków z czterech grup, klasyfikowanych jako TZO (trwałe zanieczyszczenia organiczne) lub związki zbliżone właściwościami do TZO (tj. WWA – wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, PCB – polichlorowanych bifenyli, PCO – pestycydów chlorowcoorganicznych, i PBDE – polibromowanych difenyleterów) w elementach środowiska abiotycznego związanych z lodowcami na całej półkuli północnej. W analizie wykorzystano wszystkie dostępne wówczas dane, nawet incydentalnie raportowane, do całościowego opisu problematyki możliwego uwalniania związków o właściwościach typowych dla TZO z lodowców na półkuli północnej. Dzięki uwzględnieniu znanych informacji o migracji tych związków w środowisku, włączając w to cyrkulację atmosferyczną i pokrywę śnieżną, można było wyciągnąć istotne wnioski o przyszłej skali zagrożeń związanych z wtórnymi źródłami zanieczyszczeń z grupy TZO w lodowcach półkuli północnej i o regionalnym zróżnicowaniu tych zagrożeń w powiązaniu z prognozami zmian klimatu w XXI wieku. O znaczeniu przedstawionych wyników badań dla dyscypliny świadczy również ich wysoka cytowalność: 63 cytowania wg bazy Scopus, 56 cytowań wg Web of Science.

H5. Barbaro, E., **Kozioł, K.**, Björkman, M.P., Vega, C.P., Zdanowicz, C., Martma, T., Gallet, J.-C., Kępski, D., Larose, C., Luks, B., Tolle, F., Schuler, T. V., Uszczyk, A., Spolaor, A., **2021. Measurement report: Spatial variations in ionic chemistry and water-stable isotopes in the snowpack on glaciers across Svalbard during the 2015–2016 snow accumulation season.** Atmos. Chem. Phys. 21, 3163–3180, doi: 10.5194/acp-21-3163-2021.

Wkład autorski:

Wkład w przygotowanie i przeprowadzenie eksperymentu terenowego (w jego część zlokalizowaną w okolicy fiordu Hornsund, tj. na Lodowcach Hansa i Werenskiölda) oraz analizę i opis danych. Wkład w przygotowanie eksperymentu terenowego, pobranie próbek, analizy laboratoryjne (w szczególności oznaczanie stężeń jonów nieorganicznych w laboratorium Polskiej Stacji Polarnej Hornsund), przygotowanie i analizę danych, oraz przygotowanie manuskryptu i odpowiedzi na pytania recenzentów. Udział w szerokiej współpracy międzynarodowej w ramach projektu badawczego C2S3 (*Community Coordinated Snow Survey in Svalbard*), sfinansowanego w ramach grantów Svalbard Science Forum (Norweskiej Rady Naukowej RCN) nr 246731/E10 i 257636/E10, dla instytucji: Gothenburg Centre of Advanced Studies, BECC - Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate, Gothenburg Air and Climate Centre, Grupy Roboczej ds. Kriosfery IASC (International Arctic Science Committee) i Norweskiego Instytutu Polarnego, z dofinansowaniem z polskich programów badawczych Krajowy Naukowy Ośrodek Wiodący (KNOW) dla Centrum Studiów Polarnych na lata 2014-2018 oraz ze środków na działalność statutową nr 3841/E-41/S/2020 z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także w ramach projektu badawczego EU Horizon 2020 nr 689443 (iCUPE).

Nowość naukowa:

Porównanie danych o stężeniach jonów nieorganicznych i stosunków masowych izotopów stałych tlenu i wodoru w pokrywie śnieżnej z całego sezonu akumulacji na lodowcu, w ujęciu przestrzennym dla siedmiu lodowców wybranych z całego archipelagu Svalbard (włącznie

z Ziemią Północno-Wschodnią). Zebranie takich danych w międzynarodowym zespole (dzięki czemu objęły one znacznie większą skalę przestrzenną niż dotychczasowe badania na Svalbardzie) umożliwiło interpretację związaną ze zróżnicowanym udziałem aerozolu morskiego i innych źródeł (naturalnych i antropogenicznych) w depozycji jonów nieorganicznych na tym terenie. Mój wkład umożliwił włączenie najbardziej południowej lokalizacji na Svalbardzie (Hornsund) do zakresu badań, ponieważ przeprowadziłam część badań terenowych i wszystkie analizy chemiczne stężeń jonów nieorganicznych dla tego obszaru, a także interpretowałam dane z tym obszarem związane. Obszar ten wyróżnia się wyjątkowo wysokim udziałem aerozolu morskiego w depozycji atmosferycznej, co predysponowało go do dalszych badań związanych z aerozolem morskim, jakie prowadziłam.

H6. Pawlak, F., **Koziol, K.A.**, Kosek, K., Polkowska, Z., 2022. **Local variability in snow concentrations of chlorinated persistent organic pollutants as a source of large uncertainty in interpreting spatial patterns at all scales.** J. Environ. Qual. 51, 411–424, doi: 10.1002/jeq2.20343.

Wkład autorski:

Opracowanie koncepcji badań, obejmującej wskazanie możliwych ograniczeń w interpretacji danych dotyczących stężeń związków organicznych z grupy chlorowanych TZO w pokrywie śnieżnej, pobranych w układzie przestrzennym, ze względu na niejednorodność tego elementu środowiska. Koncepcja ta wynikała także z projektu badawczego *SvalPOPs* (grant SIOS Research Infrastructure Access Project nr 2018_0009), którego byłam kierownikiem, a zatem mój wkład obejmował również pozyskanie finansowania. Uczestniczyłam we wszystkich etapach przeprowadzonych badań, od zaplanowania eksperymentu terenowego, poprzez pobranie próbek, analizy laboratoryjne, obliczenia statystyczne i wizualizację wyników, po przygotowanie manuskryptu i jego redakcję. Jako jedyna autorka z dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, wniosłam wkład we wszystkie geograficzne aspekty pracy nad artykułem, w szczególności w badania terenowe oraz analizy (w tym statystyczne) w aspekcie przestrzennym i czasowym.

Nowość naukowa:

Wskazanie ograniczeń w interpretacji zmienności przestrzennej stężeń zanieczyszczeń organicznych z grupy chlorowanych TZO w pokrywie śnieżnej. Aspekt ten jest szczególnie istotny w Arktyce, gdzie skomplikowana logistyka może uniemożliwić pobranie większej liczby próbek reprezentujących jedną lokalizację w terenie. Dzięki wykonanym badaniom, można przypisać przybliżoną wartość niepewności do zróżnicowania lokalnego stężeń tych związków chemicznych w pokrywie śnieżnej. Umożliwia to ocenę, czy wnioskowanie statystyczne o istotności trendów przestrzennych jest uprawnione (czy wykraczają ponad tę wartość niepewności). Praca ta stanowiła również etap badań prowadzonych w ramach projektu badawczego *Sea-snow POPs* (grant NCN SONATA nr 2017/26/D/ST10/00630), gdyż pozwoliła na weryfikację istotności prawidłowości określonych w Artykule nr 7.

H7. Pawlak, F.*, **Koziol, K.***, Frankowski, M., Nowicki, Ł., Marlin, C., Sulej-Suchomska, A.M., Polkowska, Z., 2023. **Sea spray as a secondary source of chlorinated persistent organic pollutants? - Conclusions from a comparison of seven fresh snowfall events in 2019 and 2021.** Sci. Total Environ. 891, 164357, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164357.

*równy wkład autorski = równorzędne pierwsze autorstwo

Wkład autorski:

Opracowanie koncepcji badań, polegającej na wskazaniu możliwej roli aerozolu morskiego jako nieznanego do tej pory drogi przemieszczania się zanieczyszczeń z grupy chlorowanych

TZO (trwałych zanieczyszczeń organicznych), i zarazem wtórnego ich źródła dla środowiska lądowego Arktyki. Koncepcja ta wynikała także z projektu badawczego *Sea-snow POPs* (grant NCN SONATA nr 2017/26/D/ST10/00630), którego byłam kierownikiem i jedynym autorem (pozyskanie finansowania). Uczestniczyłam we wszystkich etapach przeprowadzonych badań, od zaplanowania eksperymentu terenowego, poprzez pobranie próbek, analizy laboratoryjne, obliczenia statystyczne i wizualizację wyników, po przygotowanie manuskryptu (w tym koordynację wkładu współautorów) i redakcję całości oraz odpowiedzi na pytania recenzentów. Jako wiodąca autorka z dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, wniosłam wkład we wszystkie geograficzne aspekty pracy nad artykułem, w szczególności w badania terenowe oraz analizy w aspekcie przestrzennym i czasowym (w tym statystyczne), a także interpretację powiązań między elementami środowiska przyrodniczego.

Nowość naukowa:

Nowatorska koncepcja badawcza łącząca wieloaspektowe pomiary terenowe i laboratoryjne. Wskazanie nowego wtórnego źródła zanieczyszczeń organicznych z grupy chlorowanych TZO w Arktyce. Nowatorska koncepcja obejmowała wykorzystanie zmienności przestrzennej stężeń związków z grupy chlorowanych TZO w pokrywie śnieżnej, w połączeniu ze zmiennością stężeń tych związków w innych elementach środowiska (w szczególności w warstwie powierzchniowej i mikrowarstwie powierzchniowej wody morskiej) do określenia, czy występuje mechanizm transportu tych związków z morza na ląd. Mechanizm ten był prawdopodobny w związku ze zmniejszającą się pokrywą lodu morskiego i rozpraszaniem aerozolu morskiego z otwartych powierzchni wodnych. Próbkę pobrano z warstwy świeżego śniegu, dzięki czemu można było je odnieść do konkretnych epizodów opadowych, dla których oceniana była rola cyrkulacji atmosferycznej (modelowana za pomocą HYSPLIT) oraz pokrywa lodu morskiego. Dzięki nawiązanej przeze mnie współpracy z Prof. Christelle Marlin (z Université Paris-Saclay we Francji), pochodzenie opadu śniegu ze świeżej depozycji atmosferycznej zostało zweryfikowane za pomocą stosunków masowych izotopów stałego tlenu i wodoru (w wodzie) i powiązane ze źródłami wilgoci atmosferycznej, co również stanowiło nowość naukową tej pracy.

Podsumowanie wskaźników bibliometrycznych osiągnięcia naukowego na tle pozostałego dorobku

Publikacje stanowiące:	Sumaryczny Impact Factor z roku opublikowania	Sumaryczna liczba punktów MNiSW (wg obecnej punktacji)
Główne osiągnięcie naukowe	40,515	1040
Pozostały dorobek	146,343	3305
Łącznie	186,858	4345

Stan aktualny na dzień 17.08.2026 r. Współczynnik IF przyjęto w roku publikacji pracy, co jest najściślej związane z sytuacją w momencie jej publikacji. Wskaźniki sumaryczne przedstawiono na podstawie obliczeń pracowników Biblioteki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego.

Wskaźniki cytowań dla publikacji / wg bazy:	Web of Science	Scopus	Google Scholar
Główne osiągnięcie naukowe	147	158	200
<i>w tym autocytyowania osiągnięcia</i>	23	21	31
Pozostały dorobek	530	552	733
Łącznie cały dorobek	677 cytowań (w 475 artykułach)	710 cytowań (w 515 artykułach)	933
Łącznie cały dorobek bez autocytyowań	578 cytowania (w 442	615 cytowań	-

	artykułach)		
--	-------------	--	--

Liczba cytowań publikacji osiągnięcia naukowego na tle pozostałego dorobku - stan aktualny na dzień 17.08.2026 r.).

Podsumowanie: Na osiągnięcie naukowe składa się siedem oryginalnych artykułów naukowych, opublikowanych w czasopismach *Science of the Total Environment* (3 artykuły), *Earth Surface Processes and Landforms*, *Frontiers in Earth Science*, *Journal of Environmental Quality*, oraz *Atmospheric Chemistry and Physics*. Ukazały się one w latach 2017-2023 w czasopismach zagranicznych indeksowanych w bazie Web of Science i Scopus, a zarazem wymienionych w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych zamieszczonym w załączniku do komunikatu Ministra Nauki z dnia 5 stycznia 2024 r. Czasopisma, w których opublikowano prace składające się na osiągnięcie, z wyjątkiem *Atmospheric Chemistry and Physics*, zostały przypisane do dyscypliny naukowej „nauki o Ziemi i środowisku”, z punktacją w zakresie od 100 do 200 pkt. Praca opublikowana w czasopiśmie *Atmospheric Chemistry and Physics* jest jednak tematycznie związana z dyscypliną „nauki o Ziemi i środowisku”, ze względu na aspekt przestrzenny przeprowadzonych badań i ich związek z jakością środowiska przyrodniczego. O wysokiej randze czasopism, w których opublikowano siedem artykułów składających się na osiągnięcie naukowe, świadczy fakt, że w momencie publikacji zaliczono je w przeważającej większości do grupy czasopism pierwszego kwartyła (Q1, wg rankingu SJR – Scientific Journal Rankings), a tylko jedno do drugiego kwartyła (Q2, czasopismo *Journal of Environmental Quality*). Sumaryczny wskaźnik Impact Factor za osiągnięcie naukowe wynosi 40,515, a łączna liczba punktów MNiSW za osiągnięcie to 1040 (średnia za artykuł = 148,57 pkt; obliczono według punktacji ważnej na dzień 17.08.2026 r.). Publikacje tworzące osiągnięcie były dotychczas cytowane 147 razy wg bazy WoS, 158 razy – wg bazy Scopus, i 200 razy – wg Google Scholar (dane aktualne na 17.08.2026 r.).

4.1. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników

W dobie postępujących zmian klimatycznych, Arktyka przechodzi dynamiczne zmiany w nienotowanym dotąd tempie. Przed rokiem 2025, opublikowano prace wskazujące na ocieplanie się Arktyki 3-4 razy szybciej niż średnia dla globu (ACIA, 2005; Rantanen i in., 2022) a w niektórych regionach, np. na południowym Svalbardzie nawet 6-10 razy szybciej (Wawrzyniak and Osuch, 2020), lub na Syberii – w przypadku Płw. Jamał, anomalia temperatury letniej znacznie przekracza tę dla Arktyki (Hantemirov i in., 2022). Ostatni raport IPCC (2023) prognozował, że zmiany te jeszcze się nasilą, a zależne będą od intensywności presji wywieranej przez działalność człowieka i od szybkości przeprowadzania transformacji prowadzącej do stanu neutralności klimatycznej (m.in. transformacji energetycznej, ale także zmian w innych sferach gospodarki i życia codziennego). Nie ma w tej chwili możliwości całkowitego wyhamowania zmian klimatu i zmian środowiska z nimi powiązanych w perspektywie do końca XXI wieku, nawet przy całkowitym zaprzestaniu emisji gazów cieplarnianych, ze względu na długi czas przebywania wielu z tych gazów w atmosferze (IPCC, 2023), a zatem Arktyka z pewnością narażona będzie na dalsze dynamiczne zmiany w środowisku.

Wspomniane zmiany prowadzą do szeregu globalnych konsekwencji środowiskowych, w tym do wtórnych emisji zanieczyszczeń z dotychczas wyłączonych z obiegu rezerwuarów (np. z topniejących lodowców, Blais i in., 2001; Bogdal i in., 2010, 2009). Zmiany te wpływają silnie także na drogi przemieszczania się zanieczyszczeń, związane z cyrkulacją oceaniczną i atmosferyczną (Hansen i in., 2015; Hung i in., 2022; Muir i in., 2025; Nadal i in., 2015; Octaviani i in., 2015). Pomędzy zanieczyszczeniami niebędącymi gazami cieplarnianymi a zmianami klimatu zachodzą złożone interakcje,

obejmujące np. zmniejszenie efektu chłodzącego aerozoli w wyniku poprawy jakości powietrza w aglomeracjach miejskich na świecie (IPCC, 2021). Połączona presja ze strony zmian klimatu i zanieczyszczenia środowiska wzmaga zagrożenia dla ekosystemów (Bard, 1999; Dietz i in., 2019; Noyes i in., 2009; Noyes i Lema, 2015; Spataro i in., 2021) i społeczeństw (AMAP, 2004; Bard, 1999; Fernández-Llamazares i in., 2019; Gunnarsdóttir i in., 2025; Rylander i in., 2011), szczególnie w obszarach wrażliwych i do tej pory mniej narażonych na skutki działalności człowieka, takich jak Arktyka (AMAP, 2011; Hung i in., 2022; Muir i in., 2025).

Tematyka badań związana ze źródłami zanieczyszczeń w Arktyce posiada historię sięgającą co najmniej końca XIX stulecia, kiedy miały miejsce pierwsze obserwacje pyłu na powierzchni lodowców przez Nordenskiölda (1875), a bogatszą w obserwacje od połowy XX wieku, kiedy to piloci samolotów w Arktyce Kanadyjskiej i na Alasce zauważyli nieznanego pochodzenia mgiełkę, nazwaną później *Arctic haze* (Greenaway, 1950; Mitchell, 1956) za: (Quinn i in., 2007). Jednak badania te nie tracą na aktualności, szczególnie w kontekście zwiększonej dostępności Arktyki dla działalności człowieka i modyfikowanych przez zmiany klimatu proporcji między źródłami zanieczyszczeń z dalekiego transportu a lokalnymi w obszarach polarnych Ziemi (**Muir i in. 2025**). Jej aktualność przejawia się m.in. poprzez wykrywanie na Dalekiej Północy coraz to nowych substancji pochodzących z działalności człowieka: mikroplastików (Emberson-Marl i in., 2023; Parga Martínez i in., 2024), substancji per- i polifluoroalkilowych (PFAS; Dai i in., 2025; Hartz i in., 2024), siloksanów (Nipen i in., 2025, 2024), pozostałości farmaceutyków czy substancji używanych w kosmetykach (Dube i in., 2024; Kallenborn i in., 2018; Pouch i Pazdro, 2025), a nawet mikroorganizmów antybiotykoopornych (Depta i Niedźwiedzka-Rystwej, 2023; Moniz i in., 2022). Jednocześnie w Arktyce zwiększona presja działalności człowieka dosięga ekosystemów narażonych na skutki zanieczyszczeń ze względu na przystosowania zwierząt do zimnego środowiska, polegające m.in. na gromadzeniu tkanki tłuszczowej (Alexander, 1995) i pod potencjalną dodatkową presją ze strony zmian klimatycznych (Borgå i in., 2022). Również społeczności lokalne w Arktyce, w szczególności ludność rdzenna, są szczególnie narażone na zanieczyszczenie środowiska, z uwagi na specyfikę diety (Bonefeld-Jorgensen i in., 2011; Fisk i in., 2001): bardziej monotonnej i opartej na produktach zwierzęcych, często organizmach o wysokiej pozycji w łańcuchu pokarmowym, która sprzyja akumulacji zanieczyszczeń (biomagnifikacji) (AMAP, 2004; Sonne i in., 2005; Vorkamp i in., 2011). Także społeczności lokalne, które nie prowadzą tradycyjnego stylu życia, są nieraz narażone na negatywne skutki działalności człowieka w postaci zanieczyszczeń wody (Gunnarsdóttir i in., 2013; Jensen i in., 2018; Kallenborn i in., 2018) i powietrza atmosferycznego (Drotikova i in., 2020; Reimann i in., 2009; Weinbruch i in., 2022). Dzieje się tak ze względu na słabiej rozwiniętą infrastrukturę sanitarną czy uproszczone gospodarowanie odpadami (Gunnarsdóttir i in., 2013; Jensen i in., 2018; Kallenborn i in., 2018), a także na wykorzystywane środki transportu (Reimann i in., 2009; Zhan i in., 2014) czy nasilające się pożary w strefie okołobiegunowej (Gou i in., 2024; Hu i in., 2015; Song i in., 2023). Wpływ działalności człowieka jest również modyfikowany przez rozwój ośrodków miejskich w Arktyce, a z drugiej strony opuszczanie innych osiedli lub ich wyludnianie (**Muir i in., 2025**). Nie bez znaczenia są także nowe sposoby pozyskiwania żywności, np. rozwój akwakultury (Kallenborn i in., 2025).

Wśród wymienionych wątków istotne miejsce zajmuje powstawanie nowych źródeł zanieczyszczeń w Arktyce o charakterze wtórnym, tj. uwalnianie zanieczyszczeń z uprzednich nagromadzeń w środowisku, np. za sprawą zmian klimatu. Wśród wtórnych źródeł w środowisku Arktyki najczęściej wymienia się topniejące lodowce. Możliwe jest jednak uwalnianie zanieczyszczeń także za sprawą tajania wieloletniej zmarzliny (**Muir i in., 2025; Szumińska i in., 2023**), zanikania pokrywy lodu morskiego i w efekcie wzmożonych

emisji z morza do atmosfery poprzez otwartą powierzchnię wody morskiej (Ma i in., 2016), czy ze względu na zmienioną równowagę faz w cieplejszym klimacie i uwalnianie zanieczyszczeń do fazy gazowej np. z gleb czy wód, ale także z pokrywy śnieżnej (Hansen i in., 2008, 2006). Zmiany klimatyczne sprzyjają również zwiększonej częstości warunków pogodowych sprzyjających pożarom w obszarach okołobiegunowych (Huang i in., 2024), a stwierdzone nasilenie pożarów może być źródłem emisji substancji o charakterze zanieczyszczeń, np. z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) (Gou i in., 2024; Song i in., 2023).

Warto tutaj zauważyć, że termin *zanieczyszczenie* nie jest jednoznaczny, a odniesienie do pierwiastków metalicznych czy niektórych związków organicznych jako do *zanieczyszczeń* bywa zależne od kontekstu. Tym niemniej w badaniach środowiskowych panuje konsensus co do tego, że substancje chemiczne pochodzące z działalności człowieka, występujące w podwyższonych stężeniach w środowisku i przekraczające poziomy stężenie związane ze szkodliwością dla organizmów żywych, spełniają definicję *zanieczyszczenia* (van Loon and Duffy, 2010; Naumczyk, 2017; por. restrykcyjne rozumienie terminu przez Russella, 1974). Zazwyczaj poziomy te określa się w przepisach prawa (Ribeiro i Kruglianskas, 2015; Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r.), a powinny się opierać na wiedzy naukowej z zakresu toksykologii i chemii środowiska, a szerzej z dyscypliny nauk biologicznych, nauk chemicznych i nauk o Ziemi i środowisku. W wielu przypadkach uznaje się za *zanieczyszczenia* również substancje związane z procesami naturalnymi lub semi-naturalnymi, jednak występujące na poziomach stężeń związanych z toksycznością ostrą lub przewlekłą, lub po prostu emitowane w znacznej ilości (Migaszewski and Gałuszka, 2007; Naumczyk, 2017; van Loon and Duffy, 2010) - jak wskazuje przykład zanieczyszczeń z pożarów lasów, które mogą powodować problemy zdrowotne podobne do smogu miejskiego (Gould et al., 2024). Wiele substancji występujących w środowisku na podwyższonych względem tła geochemicznego poziomach, może pochodzić zarówno z działalności człowieka, jak i z procesów o charakterze naturalnym (np. metale ciężkie z lokalnie występujących minerałów rudnych, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne z wybuchów wulkanów i pożarów, czy jony siarczanowe (VI) z aerozolu morskiego i jony amonowe z ptasiego guana - Amore et al., 2022; Joranger and Semb, 1989a; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Migaszewski and Gałuszka, 2007; van Loon and Duffy, 2010). W przypadku złożonych procesów wpływających na redystrybucję takich substancji w środowisku, szczególnie zaś w przypadku badań obszarów mniej narażonych na skutki lokalnej działalności człowieka, takich jak Arktyka, nie jest możliwe zupełne rozdzielenie antropogenicznych od naturalnych źródeł danej substancji. Analiza skutków długoterminowych w środowisku w przypadku podwyższonych stężeń substancji chemicznych również pozostaje złożonym problemem badawczym. W świetle powyższych rozważań, w opisie referowanego **osiągnięcia** termin *zanieczyszczenie* będzie używany sporadycznie w odniesieniu do badań własnych, z wyjątkiem grupy związków chemicznych klasyfikowanych jako **trwale zanieczyszczenia organiczne (TZO)**, do której zaliczane są substancje regulowane przez Konwencję Sztokholmską (2001), w szczególności (w odniesieniu do **osiągnięcia**): **polichlorowane bifenyle (PCB)**, **pestycydy chloroorganiczne (PCO)**, oraz **polibromowane difenyletery (PBDE)**. Substancje te są powiązane z działalnością człowieka (choć mogą powstawać intencjonalnie lub nieintencjonalnie), a ze względu na ich bioakumulację i toksyczność przewlekłą, m.in. działanie kancerogenne czy powodujące zaburzenia hormonalne, ich szkodliwe działanie na organizmy żywe nie jest kwestionowane. Tym niemniej, inne omawiane substancje również mogą wywoływać negatywne skutki zdrowotne i ekosystemowe. Ze względu na złożoność źródeł substancji chemicznych w środowisku, a także na procesy naturalne modyfikujące sygnały chemiczne z pierwotnych emisji, istotnym metodycznie podejściem jest badanie

substancji za pomocą technik statystycznych i z uwzględnieniem kontekstu środowiskowego, tak jak zaprezentowano w **osiągnięciu**.

Zmiany klimatu mają również istotny wpływ na pokrywę śnieżną Arktyki: jej miąższość, ciągłość, czas zalegania i strukturę. Jednakże opady śniegu są wciąż dominującą formą opadów w Arktyce, pomimo zachodzących zmian w kierunku coraz większego udziału opadów deszczu (Bintanja and Andry, 2017), a możliwość próbkowania z powierzchni i całości profilu pokrywy śnieżnej oferuje wyjątkowe możliwości w porównaniu do badania opadów deszczu, powietrza atmosferycznego czy strumienia suchej depozycji atmosferycznej. Wraz ze zmianami zachodzącymi w procesach depozycji zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej Arktyki, a także z rozwijającą się analityką chemiczną i możliwościami pomiarowymi, otwierają się nowe możliwości interpretacyjne dla procesów zachodzących w tym wrażliwym środowisku. Współpraca w szerokim gronie badaczy (interdyscyplinarna i międzynarodowa), w szczególności łączenie istniejącej wiedzy i nowych odkryć z zakresu nauk o Ziemi i środowisku z informacjami z zakresu chemii analitycznej, chemii środowiska i chemii fizycznej, a także z zakresu nauk biologicznych, również pozwala na nowe ścieżki interpretacji danych pochodzących z badań właściwości fizycznych i chemicznych opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej. Prace wchodzące w skład **osiągnięcia** ujmują tę wiedzę w aspekcie przestrzennym i czasowym, właściwym dla badań geograficznych. Przedstawione osiągnięcie prezentuje wieloaspektowe korzyści z takiego podejścia badawczego i wnioski, które z niego wynikają, dla identyfikacji źródeł związków organicznych oraz pierwiastków chemicznych i jonów nieorganicznych w środowisku Arktyki, wśród których występują substancje o charakterze zanieczyszczeń. Na szczególną uwagę zasługuje rola pokrywy śnieżnej jako czasowego archiwum zachowującego informacje o składzie chemicznym atmosfery. Zapis tego archiwum powstaje za pośrednictwem opadów śniegu i późniejszej depozycji suchej i mokrej na powierzchni pokrywy śnieżnej. Opad śniegu można monitorować w kilku lokalizacjach poprzez śledzenie przebiegu warstw w profilu pokrywy śnieżnej, w przeciwieństwie do trudniejszego w monitoringu wielopunktowym opadu deszczu (Joranger i Semb, 1989b; Nawrot i in., 2016; Simoes i Zagorodnov, 2001; Zdanowicz i in., 2021). W szczególnych lokalizacjach pokrywa śnieżna gromadzi się, przeobraża w firn, a następnie buduje długotrwałe archiwa możliwe do odczytania w rdzeniach firnowych i lodowych na lodowcach. Niestety, archiwa te są w coraz większym stopniu zaburzane przez topnienie spowodowane zmianami klimatycznymi, a część z nich zupełnie zanika (Huber i in., 2024; Spolaor i in., 2024). Ponadto, zmiany zasięgu i czasu zalegania pokrywy śnieżnej w Arktyce (przeważająco w kierunku malejącego zasięgu i czasu zalegania), wywołane zmianami klimatu (AMAP, 2017), wpływają na użyteczność pokrywy śnieżnej (jako krótkoterminowego zapisu zdarzeń) do badania zmian środowiska Arktyki. Tym cenniejsze jednak stają się badania, które umożliwiają śledzenie skutków ewentualnych zmian pod wpływem topnienia czy zdarzeń w postaci opadu deszczu na pokrywę śnieżną (ang. *rain-on-snow*), a także wykorzystanie wciąż szerokiego zasięgu pokrywy śnieżnej w Arktyce do śledzenia zmian, dopóki śnieżne archiwum jest wciąż powszechnie dostępne.

Motywy podjęcia tematu

Pomimo postępującej degradacji światowej kriosfery, w tym przeważającego zmniejszania się zasięgu i czasu zalegania pokrywy śnieżnej w Arktyce (AMAP, 2017), śnieg wciąż stanowi niezwykle cenny instrument badań środowiska Arktyki, o niezupełnie wykorzystanym potencjale. Decyduje o tym kilka faktów i zjawisk. Po pierwsze, opad śniegu jest znacznie bardziej efektywny od opadu deszczu w usuwaniu zanieczyszczeń z atmosfery (e.g., Lei and Wania, 2004). Po wtóre, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, opad śniegu pozostaje na powierzchni ziemi przez dłuższy czas, tworząc pokrywę śnieżną, z której powierzchni lub profilu można pobierać próbki do badań składu chemicznego,

zorientowanych na aspekt przestrzenny. Możliwe jest na przykład pobranie próbek śniegu z warstwy powstałej w wyniku tego samego epizodu opadowego na większej powierzchni. Przy zachowaniu stosunkowo krótkiego czasu od opadu do momentu pobrania próbek, cechy chemiczne i fizyczne takiego opadu śniegu pozostaną we większości zachowane. Po trzecie zaś, w warunkach arktycznych pokrywa śnieżna zalega przez trzy pory roku, od arktycznej jesieni do arktycznej wiosny, co umożliwia pobranie podczas jednego wyjazdu w teren próbek reprezentujących całkowitą depozycję pierwiastków lub związków chemicznych w okresie jesienno-zimowo-wiosennym (z uwzględnieniem zmian podepozycyjnych). Umożliwia to obserwację trendów czasowych depozycji atmosferycznej, procesów podepozycyjnych zachodzących w pokrywie śnieżnej, a także bilansowanie całkowitych sezonowych strumieni depozycyjnych (netto) pierwiastków i związków chemicznych z efektami ich usuwania do innych elementów środowiska. Co więcej, pokrywa śnieżna stanowi budulec dla lodu lodowcowego, a w badaniach rdzeni lodowych przyjmuje się, że jej właściwości chemiczne są zachowane w stopniu wystarczającym do wyciągania wniosków o składzie opadu atmosferycznego w przeszłości. Jednakże pozyskiwanie rdzeni lodowych jest bardzo kosztowne i trudne logistycznie, a zatem ograniczone w czasie i przestrzeni, a archiwum informacji zgromadzonych w rdzeniach lodowych stopniowo zanika z powodu zmian klimatycznych. W przypadkach, gdzie badania pokrywy śnieżnej mogą wspomóc interpretację rdzeni lodowych, warto skorzystać z tej możliwości.

Cel badań

Wspólnym celem przeprowadzonych badań, wchodzących w zakres osiągnięcia, było wykorzystanie możliwości analiz różnorodnych wskaźników składu chemicznego pokrywy śnieżnej w aspekcie przestrzennym i czasowym, tj. w ujęciu geograficznym, do wnioskowania o źródłach substancji chemicznych w środowisku. W kręgu zainteresowań znajdowały się zarówno pierwotne jak i wtórne źródła tych substancji. Pod pojęciem **źródła pierwotne** kryją się zarówno **źródła antropogeniczne**, związane z emisjami przemysłowymi czy z osadami ludzkimi (Breivik i in., 2004; Crippa i in., 2018), jak również **naturalne źródła** nagromadzeń podobnych substancji, takie jak aerozol morski czy wulkanizm (Quinn i in., 2015; Stewart i in., 2022). Pojęcie **wtórne źródła zanieczyszczeń** należy rozumieć jako uwalnianie w wyniku procesów fizycznych substancji chemicznych zanieczyszczających, nagromadzonych wcześniej w środowisku. Nagromadzenia takie mogą powstawać w wyniku transportu atmosferycznego czy wodnego zanieczyszczeń (i ich depozycji lub sedymentacji), a ich aktywacja jest coraz częściej dostrzegana za sprawą zmian klimatu, np. w topniejącym lodzie lodowcowym, zmianie równowagi chemicznej między glebą a powietrzem atmosferycznym, czy w tajaniu wieloletniej zmarzliny (Ademollo i in., 2021; Cabrerizo i in., 2018; Muir i in., 2025; Pouch i in., 2021; Rudnicka-Kępa i Zaborska, 2021). Przedstawione **osiągnięcie** związane jest częściowo z wtórnymi źródłami trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) – w odróżnieniu od zanieczyszczeń wtórnych, czyli powstających w wyniku reakcji chemicznych w środowisku, którym podlegają cząsteczki i atomy zanieczyszczeń pierwotnych (Harrison, 2013, 1986).

W ramach prac badawczych prowadzących do opisywanego osiągnięcia, skoncentrowano się na odpowiedziach na **trzy pytania badawcze**:

1. **Jakie są główne źródła pierwiastków i jonów nieorganicznych w opadach śniegu na południowym Spitsbergenie, i w jaki sposób można je rozróżnić na podstawie analiz statystycznych?** (artykuły H4, H5, H7)

2. **Jaką rolę w obiegu materii organicznej w lodowcu i uwalnianiu trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) z lodowców pod wpływem zmian klimatu pełni depozycja w opadzie śniegu i procesy podepozycyjne zachodzące w pokrywie śnieżnej?** (artykuły H1, H2, H4, H6, H7)

3. W jaki sposób zmienność przestrzenna stężeń indywiduów chemicznych w pokrywie śnieżnej (w tym świeżo zdeponowanej) pomaga wykrywać wpływ pierwotnych i wtórnych źródeł pierwiastków i związków chemicznych w Arktyce – i jakie są ograniczenia tej metody? (artykuły H2, H3, H4, H6, H7)

Obszar badań

Ze względu na bardzo szybko postępujące zmiany klimatu na tym obszarze (Førland i in., 2011; Osuch i Wawrzyniak, 2017; Wawrzyniak i Osuch, 2020), a także dobrze rozwiniętą sieć monitoringu i badań naukowych w okolicach Polskiej Stacji Polarnej Hornsund oraz Uniwersyteckiego Centrum na Svalbardzie w Longyearbyen, wybrano te lokalizacje na Spitsbergenie do przeprowadzenia opisanych badań terenowych. Reprezentują one nieco odmiennie warunki klimatyczne pod względem wysokości opadu (Das i in., 2025; Migala i in., 2024, 2023; Wawrzyniak i Osuch, 2020), w tym opadów śniegu (Osuch i Wawrzyniak, 2017), jednak z pewnością reprezentują lokalizacje znajdujące się pod silną presją zmian klimatycznych, o wciąż długotrwałym występowaniu pokrywy śnieżnej (Das i in., 2025; Marsz i Styszyńska, 2013; Wawrzyniak i Osuch, 2020). Badania literaturowe osadzają natomiast uzyskane wyniki badań w szerszym kontekście półkuli północnej (**artykuł H4**).

Metody badawcze i źródła danych

W ramach prezentowanego osiągnięcia przedstawiono wyniki analiz chemicznych oraz ich kontekst środowiskowy dla próbek śniegu pobranych na lodowcach Svalbardu (oprócz tego w referowanych artykułach występowały również inne rodzaje próbek środowiskowych, jednak próbki śniegu we wszystkich przypadkach odgrywały istotną rolę). Próbki śniegu reprezentowały **opad świeży, pobierany z powierzchni pokrywy śnieżnej, lub profil pokrywy śnieżnej, zakumulowanej w znanym okresie roku**. Wyróżnienie opadu świeżego (w pracach **H6 oraz H7**) następowało na podstawie oceny wzrokowej typu ziaren śnieżnych, oceny terenowej twardości warstwy (testem norweskim a. ręcznym) i znajomości przebiegu pogody w dniach poprzedzających pobranie próbek (w szczególności w celu skorelowania zdarzeń pogodowych mogących prowadzić do wyróżnienia warstw lodoszlenu z ich powierzchnią w terenie). W artykule **H7**, przypisanie opadu świeżego zostało również zweryfikowane za pomocą wskaźników izotopowych, takich jak stosunki masowe $\delta^2\text{H}$ oraz $\delta^{18}\text{O}$, a także nadmiar deuteru. W obu cytowanych pracach uwzględniono porównawczo także próbki z 10-centrymetrowej wierzchniej warstwy pokrywy śnieżnej pobranej na lodowcu Hansa w dniu 10.05.2019, pomimo braku wystąpienia świeżego opadu w dniach poprzedzających. Próbki z profilu pokrywy śnieżnej, badanego w **artykułach H1, H2, H3 oraz H5**, pobierano w okresie maksymalnej akumulacji pokrywy śnieżnej na wybranym lodowcu bądź lodowcach Svalbardu. W pracach **H1, H2 oraz H5**, analizowano próbki pobrane ze ścian szurfów śnieżnych, co umożliwia szczegółową analizę przebiegu sezonowego z wyróżnieniem warstw związanych z pokrywą śnieżną o różnych właściwościach. W przypadku **artykułu H1**, skoncentrowanego na procesach topnienia pokrywy śnieżnej, badania szurfów śnieżnych powtórzono w okresie ablacji. W pracy **H3**, a także **H2** w celu rozpoznania zróżnicowania przestrzennego, zastosowano wiercenia pokrywy śnieżnej za pomocą ręcznych świrdrów rdzeniowych, co pozwala na mniej dokładny podział rdzenia na warstwy, jednak umożliwia powtórzenie badania w większej liczbie lokalizacji na powierzchni lodowca niż badania szurfowe. Poza próbkami śniegu, w ramach osiągnięcia pomocniczo analizowano próbki wód powierzchniowych (supra- i proglacialnych wód słodkich), wód morskich – w tym powierzchniowej warstwy i mikrowarstwy wody morskiej, lodu lodowcowego i lodu nałożonego, oraz osadów wodnych i supraglacialnych. Publikacja

H4 obejmuje dane literaturowe o podobnie pobieranych próbkach śniegu i innych wód oraz osadów środowiskowych i powietrza atmosferycznego.

Analizy laboratoryjne przeprowadzone w ramach osiągnięcia naukowego obejmowały:

- pomiary parametrów fizykochemicznych (pH i przewodnictwa ręcznym pH-metrem i konduktometrem),
- oznaczanie stężeń ogólnego węgla organicznego (OWO, jako nieusuwalny węgiel organiczny, tj. za pomocą analizy CO₂ powstałego z utleniania węgla w próbce po usunięciu węgla nieorganicznego kwasem solnym) i rozpuszczonego węgla organicznego (RWO, oznaczanego jako stężenie OWO w próbce przefiltrowanej przez sącdek z włókna szklanego o średnicy porów 0,7 µm); różnicę między OWO a RWO określano jako węgiel organiczny w cząstkach stałych (ang. particulate organic carbon, POC),
- oznaczanie stężeń jonów nieorganicznych (anionów i kationów, techniką chromatografii jonowej z detekcją konduktometryczną),
- oznaczanie stężeń metali i metaloidów (metodą spektrometrii mas z indukcyjnie sprzężoną plazmą, ICP-MS),
- oznaczanie stężeń lotnych kwasów tłuszczowych (LKT, techniką chromatografii jonowej z detekcją UV-Vis),
- oznaczanie stężeń stężeń formaldehydu i sumy fenoli, oznaczone za pomocą testów spektrofotometrycznych,
- analizy liczby komórek biologicznych, wykonane metodą cytometrii przepływowej,
- oznaczanie stężeń związków zaliczanych to trwałych zanieczyszczeń organicznych, takich jak polichlorowane bifenyle (PCB) czy pestycydy chlorowcoorganiczne (PCO), a także wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które choć nie są regulowane przez Konwencję Sztokholmską i wykazują mniejszą trwałość środowiskową, pod wieloma względami wykazują podobne do TZO właściwości (np. daleki transport, kancerogenność). W kontekście podręcznikowym nieraz zalicza się WWA do TZO (np. Naumczyk, 2017) – stężenia wszystkich tych związków chemicznych oznaczano metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrem mas,
- oznaczanie stosunków masowych izotopów stabilnych w wodzie ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$, na podstawie których obliczano również wskaźnik nadmiaru deuteru d), wykonano za pomocą spektroskopii laserowej.

Szeroki zakres wykonywanych analiz laboratoryjnych wymagał współpracy ze specjalistami z zakresu chemii analitycznej i chemii środowiska (zespół prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej z Politechniki Gdańskiej, zespół z Uniwersytetu w Wenecji – reprezentowany przez dr Elenę Barbaro i z Uniwersytetu w Uppsali, reprezentowany przez dr Carmen Vega, prof. dr hab. inż. Marcin Frankowski z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, dr Łukasz Nowicki z firmy Perlan Technologies Polska Sp. z o.o.) oraz z dziedziny analiz izotopowych (dr Tõnu Martma z Politechniki w Tallinnie) lub wykonania analiz w formie badań zleconych w Laboratorium Izotopów Stabilnych Instytutu Nauk Geologicznych PAN. Ze względu na moje wcześniejsze doświadczenie z techniką chromatografii jonowej, samodzielnie wykonywałam analizy jonów nieorganicznych tą techniką w próbkach z lodowców Hansa i Werenskiölda w laboratorium Polskiej Stacji Polarnej Hornsund, prowadzonej przez Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (do **artykułu H5**). Szkolenie w laboratorium analitycznym w ramach studiów doktoranckich na Uniwersytecie w Sheffield zapewniło mi również konieczne umiejętności do samodzielnego przeprowadzenia analiz

stężeń OWO i RWO do **artykułu H2** oraz OWO, RWO i cytometrycznych do pracy **H1**. Uczestniczyłam również, we współpracy z naukowcami z Politechniki Gdańskiej, w wykonaniu analiz chemicznych WWA, PCB i PCO do **artykułów H1, H6 i H7**. Pozwoliło mi to skalibrować moje spostrzeżenia w interpretacji wyników i zapewnić (w ramach współpracy badawczej) odpowiednią do zadanych problemów badawczych dokładność danych chemicznych – tak aby można było wskazać różnice przestrzenne i czasowe w badanych stężeniach. Powyższe wskazanie jest istotne również ze względu na realizację tych badań w ramach dwóch projektów badawczych pod moim kierownictwem: PRELUDIUM NCN „Globalne rozmrażanie” i SONATA NCN „Sea-snow POPs”. Tylko dzięki udanej interdyscyplinarnej współpracy udało się sprostać wyzwaniom związanym z badaniami stężeń substancji chemicznych w pokrywie śnieżnej występujących typowo na niskich poziomach stężeń, co wymaga stosowania czułych technik detekcji i precyzyjnego przygotowania próbki, ze ścisłym zachowaniem reguł dobrej praktyki laboratoryjnej.

Istotnym elementem przeprowadzonych badań była analiza wyników oznaczeń chemicznych w kontekście środowiska geograficznego, w aspekcie przestrzennym i czasowym. W wielu pracach składających się na **osiągnięcie**, do tego celu została zastosowana analiza statystyczna (**H2, H3, H5, H6, H7**), w tym z użyciem technik analizy wielowymiarowej, takich jak analiza klastrowa (inaczej: skupień, wiązkowa) (**H4, H7**). Przeprowadzono również pomiary terenowe i obliczenia ekwiwalentu wodnego pokrywy śnieżnej lub warstwy śnieżnej poddanej analizie (**H1, H2, H3, H5, H6, H7**) a także przepływów i odpływu całkowitego cieków drenujących badane lodowce czy bilansu masy lodowca (**H2**). W kontekście interpretacyjnym uwzględniono trajektorie wsteczne mas powietrza (**H7**) oraz zasięg pokrywy lodu morskiego (**H3, H5, H7**) na podstawie map publikowanych przez Norweski Instytut Polarny. Pomocniczo wykorzystano także wskaźniki izotopowe świadczące o pochodzeniu wilgoci w opadzie śniegu (**H5, H7**). W pracy przeglądowej (**H4**) przyjęto, że interakcje między elementami systemu lodowcowego są konieczne do uwzględnienia, a zatem zebrane dane dotyczyły elementów środowiska lodowcowego, od powietrza atmosferycznego i depozycji atmosferycznej w pokrywie śnieżnej, po wody drenujące lodowiec, osady i zbiorniki wodne przed czołem lodowca.

Finalne wnioski wyciągnięte w przytoczonych pracach były zawsze sformułowane przy moim istotnym wkładzie (w **artykułach H4, H5, H6, H7**) lub niemal w całości przeze mnie (w **pracach H1, H2, H3**), a przytaczane dalej ważniejsze wyniki przeprowadzonych badań nie mogłyby powstać bez mojego kluczowego udziału. Ze względu na interdyscyplinarny charakter podjętych badań, nawiązanie współpracy z naukowcami reprezentującymi dyscyplinę nauk chemicznych było konieczne do osiągnięcia wyników badań wchodzących w skład **głównego osiągnięcia**, co jednak nie umniejsza wkładu w zakresie dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, który był w całości (w **artykułach H1, H4, H6**) lub w dominującej części (w **pracach H2, H3, H5, H7**) mojego autorstwa.

Wyniki przeprowadzonych badań

a.) Badania nad rozróżnieniem antropogenicznych, morskich i geogenicznych źródeł metali i metaloidów oraz jonów nieorganicznych w opadach śniegu na południowym Spitsbergenie, z zastosowaniem metod statystycznych.

Substancje nieorganiczne w pokrywie śnieżnej Arktyki są często mieszanego pochodzenia, w związku z czym problemem badawczym w ich przypadku jest odróżnienie potencjalnych zanieczyszczeń związanych z działalnością człowieka od substancji pochodzących z procesów naturalnych, np. wietrzenia skał i transportu eolicznego pyłu skalnego (źródło geogeniczne), czy z rozpraszania kropelek wody morskiej i soli w powietrzu atmosferycznym w postaci aerozolu, tudzież emisji gazów związanych z algami morskimi, np. siarczku dimetylu (źródło morskie). Analizy statystyczne, uwzględniające aspekt

przestrzenny i czasowy, stanowią nieocenioną pomoc w tego rodzaju badaniach. Prace **H3**, **H5** i **H7** stanowią przykłady zastosowania metod statystycznych w połączeniu z informacją przestrzenną do rozwiązywania problemów badawczych związanych z przypisaniem wykrytych stężeń metali i metaloidów oraz jonów nieorganicznych do ich źródeł naturalnych lub antropogenicznych.

W pracy **H3**, do wykrywania źródeł substancji chemicznych zastosowano analizę klastrową (zwaną także analizą skupień lub wiązkową), w połączeniu z analizą układu przestrzennego oraz czasowego zawartości pierwiastków w pokrywie śnieżnej. Aspekt czasowy określono pośrednio na podstawie pozycji warstwy w profilu śnieżnym zakumulowanym na powierzchni lodowca Hansa – w pobranych rdzeniach, podczas badań terenowych współautor Aleksander Uszczyk wyróżnił warstwy związane z jesiennym, zimowym oraz wiosennym opadem śniegu na powierzchni Lodowca Hansa, w 18 lokalizacjach obejmujących: 14 lokalizacji wzdłuż i po obu stronach linii centralnej Lodowca Hansa, a także 4 lokalizacje na lodowcach bocznych Tuva, Deilegg, oraz Staszelisen. Umożliwiło to analizę zmienności sezonowej i przestrzennej zawartości metali i metaloidów w pokrywie śnieżnej, w zakresie dotąd niepublikowanym w obrębie jednego lodowca. Grupy metali i metaloidów, powiązane w ramach trzech wyróżnionych klastrow, mogły zostać przypisane do trzech głównych źródeł (morskiego, geogenicznego i antropogenicznego z dalekiego transportu), które cechowały się wspólnymi elementami zmienności przestrzennej i sezonowej. Metale alkaliczne i ziem alkalicznych, takie jak sód, potas, wapń, magnez i stront, typowe dla źródła z soli morskiej, charakteryzowały się zmniejszającymi się stężeniami we wzrastającej odległości od morza (szczególnie jeśli wziąć pod uwagę również najbliższą zatokę, po wschodniej stronie Lodowca Hansa – Burgerbukę), zwłaszcza w okresie wiosennym. Na bazie typowego pierwiastka dla tej grupy, sodu, obliczono udział źródła morskiego w depozycji pozostałych pierwiastków w pokrywie śnieżnej lodowca Hansa. Przyjęto w tym celu proporcję pierwiastków do sodu w wodzie morskiej i założono 100% pochodzenia morskiego dla sodu. Otrzymano mediany wyższe od 25% depozycji ze źródła morskiego dla pierwiastków z całego tego klastra. Kolejny klastrow wyróżniony dzięki analizie statystycznej obejmował pierwiastki takie jak żelazo, glin, miedź i mangan, i został zinterpretowany jako zbiór pierwiastków o głównym źródle geogenicznym. Pierwiastki te charakteryzowały się znacznie mniejszym zróżnicowaniem przestrzennym zawartości w pokrywie śnieżnej, co wiąże się zapewne z bliskością odsłoniętych skał na stokach górskich otaczających lodowiec. W niektórych przypadkach metale z tego klastra wykazywały wyższe zawartości w pokrywie śnieżnej w okresie jesiennym, co można interpretować jako efekt lepiej dostępnego źródła pyłu skalnego w postaci odsłoniętych gleb i powierzchni skalnych przed powstaniem ciągłej pokrywy śnieżnej, co następuje dopiero w okresie zimowym. Trzeci zestaw metali i metaloidów stanowił największą i najbardziej zróżnicowaną grupę, obejmującą molibden, selen, cynk, rtęć, arsen, antymon, kadm, bizmut i srebro. Znalazły się w nim pierwiastki o najniższych stężeniach w pokrywie śnieżnej, w tym metale ciężkie, często wymieniane w literaturze w kontekście transportu atmosferycznego na dalekie odległości – szczególnie w przypadku pierwiastków o formach lotnych, takich jak: rtęć, cynk, arsen, kadm, antymon, selen, a prawdopodobnie także srebro, bizmut i molibden; Steinnes i Friedland, 2006). Proporcja depozycji pierwiastków z tej grupy związana z solą morską – obliczona na podstawie stężenia sodu – była na praktycznie nieistotnym poziomie (<0.1% mediana, <3% wartość maksymalna z wyjątkiem rtęci – 7% maks. i molibdenu – 22,5% maks.). Wyjątki od tej reguły mogą sugerować, że aerozol morski odgrywa czasem rolę w transporcie atmosferycznym metali deponowanych następnie w pokrywie śnieżnej, jednak może również świadczyć o innych niż morskie źródłach sodu w próbkach, których wyjątek ten dotyczył. Epizodyczny charakter depozycji tych pierwiastków, znajdujący odzwierciedlenie w wielu wartościach stężeń poniżej poziomu oznaczalności, stwarza

również dodatkowe ryzyka: pominięcia warstwy o wyższym stężeniu podczas pobierania próbek, czy też przewiania śniegu z danego zdarzenia opadowego na zachodnią stronę lodowca. Pomimo tych zastrzeżeń, zbadane zróżnicowanie wartości stężeń pierwiastków w pokrywie śnieżnej w przestrzeni i czasie było zbieżne z interpretacją ich pochodzenia z dalekiego transportu i depozycji atmosferycznej. Depozycja taka jest naturalnie zróżnicowana w czasie i przestrzeni, gdyż dla takich źródeł zanieczyszczeń charakterystyczne będą rzadziej występujące wyjątkowo wysokie stężenia, na tle typowych stężeń o poziomie znacznie niższym.

Fakt znacznego wpływu źródła morskiego na skład chemiczny substancji nieorganicznych w pokrywie śnieżnej okolic Hornsundu (na południowym Spitsbergenie – w odniesieniu do całości archipelagu Svalbard) znalazł odzwierciedlenie również w **artykule H5**. Nowością w tej pracy jest skala przestrzenna porównań, obejmująca cały obszar Svalbardu (siedem lodowców, od południowego Spitsbergenu po Ziemię Północno-Wschodnią), połączona ze skalą czasową obejmującą cały okres akumulacji pokrywy śnieżnej. Zakres ten uzyskano poprzez wykorzystanie profili w szurfach śnieżnych, wykopanych późną wiosną na każdym z lodowców w co najmniej trzech lokalizacjach: w strefie akumulacji, w pobliżu linii równowagi, i w strefie ablacji. W badaniach oznaczono stężenia podstawowych jonów nieorganicznych oraz stosunki masowe izotopów stałych tlenu i wodoru w pobranych próbkach śniegu z wyróżnionych warstw w profilach śnieżnych. Południowy Spitsbergen wyróżniał się w badaniach największymi ładunkami depozycji jonów sodowych i chlorkowych, w mniejszym stopniu także innych związanych z solą morską, takich jak jon magnezowy, wapniowy i siarczanowy. W próbkach pobranych w tym rejonie Svalbardu, wysoki ładunek depozycji dotyczył również jonu amonowego, co może być związane z biologicznymi emisjami – morskimi oraz dodatkowo z koloniami ptasich, szczególnie w okolicy lodowca Hansa. Z drugiej strony, stosunkowo mniejszy niż w innych regionach był w okolicach Hornsundu ładunek siarczanów nie pochodzących z soli morskiej, których stężenie oblicza się, odejmując od całkowitego stężenia siarczanów – ich ilość proporcjonalną do stężenia jonu sodowego (wg proporcji dla soli morskiej), a także jonu azotanowego (V). Siarczany niezwiązane z solą morską oraz azotany (V) typowo wiążą się z zanieczyszczeniem antropogenicznym z dalekiego transportu. W strefach akumulacji lodowców, wpływ soli morskiej był również związany z cięższymi izotopowo ($\delta^{18}\text{O}$) opadami śniegu, dodatkowo sugerując pochodzenie takich opadów z cieplejszych i wilgotniejszych mas powietrza napływających z południa. Znalazło to odzwierciedlenie w wyższej istotności statystycznej korelacji między ładunkiem jonów sodowych a $\delta^{18}\text{O}$ w wyżej położonych strefach akumulacji, gdzie znaczna dostawa aerozolu morskiego nie jest tak częsta jak w niższej położonych lokalizacjach.

Lokalizacja okolic Polskiej Stacji Polarnej Hornsund jest zatem predysponowana do badania w pokrywie śnieżnej zawartości substancji przenoszonych za sprawą aerozolu morskiego, stąd została wytypowana do badań w **artykule H7**. Podczas gdy główny cel tych badań opisano w **podpunkcie c**, w tym miejscu należy przede wszystkim nadmienić, że wykorzystano w tej pracy informację o stężeniach metali i metaloidów, w tym sodu i magnezu pochodzących z soli morskiej, do analiz statystycznych związanych z określeniem źródła zanieczyszczeń. Dokonano analizy klastrowej, wyróżniając na podstawie próbek pobranych w 2021 roku wyraźną grupę metali związanych z solą morską, podczas gdy w roku 2019 klastery te nie były tak wyraźne. Świadczyło to zapewne o istotności innych czynników dla stężeń metali w tym roku – i taka interpretacja została potwierdzona przez analizę trajektorii wstecznych mas powietrza, modelowanych za pomocą HYSPLIT (Stein i in., 2015). W całym zestawie danych, wystąpiły również istotne statystycznie negatywne korelacje stężeń sodu, magnezu i wapnia w próbkach śniegu, względem ich odległości od morza (wskazujące na wyższe stężenia bliżej tego źródła). Wpływ źródeł geogenicznych,

szczególnie na podwyższone stężenia jonów wapnia i magnezu w niektórych lokalizacjach obecnych w badaniach terenowych z roku 2021, również został zauważony na podstawie zbieżności lokalizacji tych próbek z występowaniem skał węglanowych (marmurów i dolomitów) w pobliżu miejsca pobrania próbki śniegu.

b.) Badania nad rolą depozycji za pośrednictwem opadu śniegu i procesów podepozycyjnych zachodzących w pokrywie śnieżnej w obiegu materii organicznej w lodowcu oraz uwalnianiu trwałych zanieczyszczeń organicznych z lodowców

Opad atmosferyczny, a następnie pokrywa śnieżna, stanowią kluczową drogę dostawy materiału budującego lodowce oraz element w obiegu wody w zlewniach niezlodowaconych, zarówno obecnie, jak i w przeszłości. Zrozumienie procesów depozycji oraz zmian podepozycyjnych w pokrywie śnieżnej, zachodzących przed uformowaniem się lodu lodowcowego, jest kluczowe do interpretacji możliwości gromadzenia się materii organicznej i trwałych zanieczyszczeń organicznych w lodowcach, a następnie ich wtórnego uwalniania do środowiska.

W pracy **H1** opisano wyniki badań wskazujących na zmiany podepozycyjne w pokrywie śnieżnej, związane z uwalnianiem z niej związków organicznych o właściwościach hydrofilowych i hydrofobowych. Przeanalizowano w horyzoncie czasowym okresu topnienia pokrywy śnieżnej zawartość ogólnego węgla organicznego (OWO) w postaci rozpuszczonej (RWO) i cząsteczkowej, formaldehydu i fenoli, oraz lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) - reprezentujących związki o właściwościach hydrofilowych, a także wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i rzadziej występujących polichlorowanych bifenyli (PCB), tj. związków o znacznym stopniu hydrofobowości i niewielkiej rozpuszczalności w wodzie. Związki organiczne zawarte w pokrywie śnieżnej uwalniają się nierównomiernie, a ich właściwości hydrofilowe lub hydrofobowe mają na to wpływ, zgodnie z oczekiwaniami sformułowanymi na podstawie modeli laboratoryjnych z pionierskich prac autorów Meyer i in. (2009a i b) oraz Meyer i Wania (2011). Obserwacja terenowa umożliwiła jednak uwzględnienie różnic w zachowaniu związków organicznych w pokrywie śnieżnej w kontekście środowiskowym, tj. z uwzględnieniem różnic w wysokości n.p.m., nachyleniu powierzchni terenu oraz następującej w trakcie badań terenowych depozycji atmosferycznej (suchej i mokrej).

Badania terenowe pozwoliły uzupełnić opublikowane modele laboratoryjne o wpływ tworzenia się lodu nałożonego jako tymczasowego rezerwuaru cząsteczkowego węgla organicznego, wzbogaconego szczególnie w hydrofobowe związki z grup WWA i PCB. Bardzo ciekawe obserwacje poczyniono dla migracji fenantrenu i pirenu (z grupy WWA) w topniejącej pokrywie śnieżnej, związków zaklasyfikowanych w modelach laboratoryjnych do Typu 2 elucji, najbardziej związanego z powierzchnią ziaren śniegu i materią organiczną (o czym świadczą także ich wysokie współczynniki podziału oktanol-woda K_{ow}). Ich stężenia nie wykazywały istotnej korelacji z cząsteczkowym węglem organicznym, natomiast zróżnicowanie ich stężeń w profilu pionowym pokrywy śnieżnej i lodzie nałożonym wskazywałoby raczej na ich przebywanie w okolicy zwierciadła wody wypełniającej częściowo topniejącą pokrywę śnieżną, być może w drobnych cząstkach pyłu atmosferycznego $<0.7 \mu m$, sklasyfikowanych w pracy jako RWO. Podobne było również zachowanie fluorenu, ale już nie acenaftenu, pomimo stosunkowo niewielkiej różnicy K_{ow} między tymi związkami (nieco wyższy dla fluorenu). Zbliżone stężenia fenantrenu, pirenu i fluorenu w stagnującej pod koniec okresu topnienia wodzie na dnie profilu śnieżnego i w lodzie nałożonym wskazuje na mechanizm ich akumulacji w lodzie nałożonym, związany z zamarzaniem stagnującej wody (a nie podwyższoną pierwotną akumulacją cząstek organicznych na dnie profilu śnieżnego).

W kontekście źródeł związków organicznych w lodowcach Svalbardu, implikacje wyników badań opisanych w **artykule H1** obejmują: 1) istotność roli procesów podepozycyjnych w kształtowaniu stężeń związków organicznych w pokrywie śnieżnej lodowców Arktyki; 2) możliwość tymczasowego odkładania się niektórych związków organicznych w lodzie nałożonym, co utrudnia obserwacje uwalniania się związków organicznych z lodowców i jednoznaczne przypisanie ich do źródeł z dawnej lub współczesnej depozycji, 3) identyfikacja potencjalnego mechanizmu akumulacji związków hydrofobowych związanego ze zwierciadłem wolnej wody w pokrywie śnieżnej, który może funkcjonować także w innych środowiskach kriosferycznych, a w lodowcach – opóźniać usuwanie zanieczyszczeń z pokrywy śnieżnej i lodu lodowcowego pomimo intensywnego topnienia, zależnie od topografii powierzchni lodowca, 4) wskazanie możliwości wzbogacenia lodu lodowcowego w związki hydrofobowe ze względu na formowanie się lodu lodowcowego z pokrywy śnieżnej, która podlega latem częściowemu topnieniu w niższej części strefy akumulacji; 5) wskazanie obszaru dalszych badań w postaci wykorzystania stosunku stężeń związków organicznych hydrofobowych do hydrofilowych jako wskaźnika intensywności topnienia, jakiej został poddany rdzeń firnowy lub lodowy.

Przeprowadzone badania są o tyle istotne, że rola lodu nałożonego w bilansie masy lodowców politermalnych była i pozostaje znacząca. Na przykład na lodowcu Kongsvegen oszacowano udział lodu nałożonego na 15-33% bilansu zimowego lokalnie i 5-10% zimowego bilansu masy dla całości lodowca po 1987 roku (Brandt i in., 2008), podczas gdy powierzchniowo lód nałożony występował na 35% powierzchni lodowca w latach 2000-2002 (Obleitner i Lehning, 2004). Na lodowcu Midtre Lovénbreen (Svalbard), lód nałożony odpowiadał za 37% akumulacji netto w warunkach panujących na początku lat 2000 (Zwinger i Moore, 2009). Wadham i Nuttall (2002) oszacowały rolę lodu nałożonego w bilansie masy lodowców Spitsbergenu na ok. 16-25% corocznej akumulacji pod koniec XX wieku. W wyjątkowych przypadkach, lodowce mogą być zasilane wyłącznie lodem nałożonym, jak to miało miejsce w przypadku czapy lodowej Storöyjökulen na północno-wschodnim Svalbardzie w latach 60. i 70. XX wieku (Jonsson i Hansson, 1990). Współcześnie wskazuje się na istotną rolę ponownego zamarzania na powierzchni Lądolodu Grenlandzkiego – Tedstone i in. (2025) szacują, że ok. 84% wód z topnienia śniegu w okolicy widocznego zasięgu pokrywy śnieżnej podlegało ponownemu zamarzaniu, co stanowiło między 26 a 69 Gt lodu w latach 2017-2022.

Rola lodu nałożonego została określona jako znacząca również w publikacji **H2**, ze względu na potencjał do opóźnienia usuwania materii organicznej z lodowca poza okres topnienia pokrywy śnieżnej. W momencie maksymalnego zasięgu lodu nałożonego na lodowcu Foxfonna na Svalbardzie w roku 2012, określono retencję w lodzie nałożonym na 28,5% całkowitego odpływu węgla organicznego z tego lodowca. Inne elementy bilansu materii organicznej w lodowcu zostały również określone i porównane, w zakresie do tej pory nie przedstawionym dla żadnego lodowca. W kontekście źródeł materii organicznej na lodowcu, pokrywa śnieżna odgrywała istotną rolę w dostawie węgla organicznego na powierzchnię lodowca ($0,138 \pm 0,051$ Mg OWO w 2011 i $0,484 \pm 0,219$ Mg OWO w 2012 roku), podobnie jak letnia depozycja sucha i mokra, tj. opad deszczu i zespół procesów związanych z depozycją gazową i pyłową w okresie bezopadowym, oszacowane łącznie na podstawie pomiarów terenowych jako $0,473 \pm 0,171$ Mg OWO w 2011 roku i $0,172 \pm 0,048$ Mg OWO w 2012 roku. Do zróżnicowania dostawy atmosferycznej w poszczególnych latach mogły się przyczynić zjawiska epizodyczne, np. obfity opad deszczu o wysokości 16 mm, który spadł w lipcu 2011 roku i był związany z napływem mas powietrza z niższych szerokości geograficznych, co typowo przynosi zarówno cieplejsze i zasobniejsze w wilgoć powietrze, jak i zanieczyszczenia atmosferyczne z obszarów intensywniejszej działalności człowieka (Hodson i in., 2009; Krawczyk i in., 2008; Kühnel i in., 2013), a zatem są

możliwym źródłem antropogenicznego OWO. Łącznie dostawy atmosferyczne sięgały $0,63 \pm 0,25$ Mg OWO rocznie i przekraczały o ok. 37% usuwanie OWO wraz z wodami ablacyjnymi, zmierzone w potokach proglacialnych u czoła lodowca ($0,46 \pm 0,04$ Mg/rok). Istotnym strumieniem dostawy materii organicznej do powierzchni lodowca było także wytapianie z powierzchniowej warstwy lodu lodowcowego, wskutek ujemnego bilansu masy lodowca. Aktywność biologiczna na powierzchni lodowca, w stosunku do opisanych wcześniej ładunków związanych z procesami fizycznymi, w tym z depozycją w opadzie śniegu, stanowiła niewielkie ilościowo źródło materii organicznej.

W artykule **H4** zebrano ilościowe informacje o stężeniach lub ładunkach depozycji związków chemicznych z grupy TZO (oraz podobnych WWA) w pokrywie śnieżnej na lodowcach półkuli północnej, a także powiązano je z informacjami o stężeniach w powietrzu atmosferycznym i wodach z topnienia śniegu i lodu w badanych przez innych naukowców systemach lodowcowych. Szczególne miejsce w pracy przeglądowej zajmują problemy związane z procesami podepozycyjnymi w pokrywie śnieżnej, które mogą kształtować późniejsze stężenia substancji organicznych w firnie i lodzie lodowcowym. Był to element, o który warto było poszerzyć wgląd w zjawisko uwalniania zanieczyszczeń z lodowców przedstawiony wcześniej przez Miner i in. (2017). W pracy uwzględniono model topnienia pokrywy śnieżnej wg Meyer i in. (2009a, 2009b) oraz Meyer i Wania (2011) i jego wpływ na losy związków organicznych z grupy TZO na lodowcach półkuli północnej. W myśl tego modelu, zarówno właściwości fizykochemiczne substancji chemicznej zanieczyszczającej pokrywę śnieżną, jak i właściwości pokrywy śnieżnej, decydują o dynamice uwalniania związków organicznych ze śniegu podczas topnienia. W konsekwencji, te same elementy decydują również o tym, jak stężenie substancji dostarczonych wraz z opadem atmosferycznym zmieni się, zanim zostaną one wbudowane w lód lodowcowy, i jakie będą natychmiastowe konsekwencje topnienia pokrywy śnieżnej w postaci uwalniania wód o czasowo zwiększonym ładunku zanieczyszczeń. Istotną nowością naukową wynikającą z pracy **H4** jest wskazanie potencjału wystąpienia zjawiska wtórnego uwalniania trwałych zanieczyszczeń organicznych z lodowców arktycznych w przyszłości, w proporcjonalnie większym zakresie w stosunku do ówczynie występującego uwalniania z lodowców alpejskich, ze względu na dużą powierzchnię dotychczasowej depozycji atmosferycznej w pokrywie śnieżnej stanowiącej budulec lodowców Arktyki i kontynuację tego zjawiska w przyszłości, szczególnie w Arktyce Rosyjskiej i północnej Arktyce Kanadyjskiej, gdzie opady śniegu mogą się zwiększyć w przyszłości (Shannon i in., 2019). (Warto zwrócić również uwagę, że wyróżnienie lodowców alpejskich w umiarkowanych szerokościach geograficznych jako głównych miejsc występowania takiego zjawiska jest do pewnego stopnia skutkiem znacznej koncentracji badań na stosunkowo dostępnym obszarze Alp Europejskich.) W artykule wskazano również cechy lodowców arktycznych, które powinny predysponować je do monitorowania uwalniania z nich trwałych zanieczyszczeń organicznych, takie jak:

- 1) wysokie tempo akumulacji i znaczna powierzchnia strefy akumulacji w okresie maksymalnych emisji historycznych dla danej grupy związków chemicznych,
- 2) znaczna intensywność topnienia i nagłe przesunięcie ku górze linii równowagi bilansowej w okresie monitorowanym,
- 3) znaczna szerokość lodowca w okolicy linii równowagi, która wpływa na większą powierzchnię lodu narażoną na topnienie podczas takiego przesunięcia ku górze.

W toku badań przeprowadzonych w artykułach **H1**, **H2** i **H4**, wyraźnie zarysował się problem nierównomiernego przestrzennie składu chemicznego pokrywy śnieżnej, co w szczególności wskazano dla OWO (**H2**). Wpływ tego zjawiska na możliwość wyciągania

wniosków z porównań przestrzennych dla stężeń chlorowanych TZO (Cl-TZO) zbadano w pracy **H6**. Przedmiotem badań była w nim heterogeniczność zawartości polichlorowanych bifenyli (PCB) i pestycydów chlorowcoorganicznych (PCO) w warstwie pokrywy śnieżnej odpowiadającej świeżemu lub niedawnemu opadowi śniegu, którą zbadano za pomocą porównania zmienności stężeń w trzech skalach przestrzennych:

- 1) lokalnej (1-3 m odległości, czyli mogącej wpłynąć na stężenie w pobranej próbce, a zatem jej reprezentatywność),
- 2) pośredniej, ujętej w badaniu jako skala przestrzenna jednej doliny niezlodowaczonej lub jednego lodowca (kilkaset metrów do kilku kilometrów odległości między pobranymi próbkami, tj. skala typowa dla badań terenowych opisujących zróżnicowanie przestrzenne związane ze źródłem zanieczyszczeń, takim jak lokalna emisja ze stacji badawczej czy wtórne źródło w postaci aerozolu morskiego – por. **H7**), oraz
- 3) skali hemisferycznej (opisanej na podstawie porównania z opublikowaną literaturą, właściwej dla globalnych porównań między badaniami, jak **artykuł H4**).

Wynik badań (bardziej szczegółowo opisany w **podpunkcie c**) wskazywał na znaczną heterogeniczność zawartości Cl-TZO w pokrywie śnieżnej w skali lokalnej, co poprzez metodykę pobierania próbek może wpływać na ograniczenia interpretacji wyników w badaniach przestrzennych składu chemicznego pokrywy śnieżnej w skali pośredniej (terenowej) i hemisferycznej (globalnej). Określenie skali zróżnicowania, wynikającego z lokalnych wahań zawartości danego związku chemicznego w próbce śniegu, pozwoliło jednak zidentyfikować sytuacje, w których zróżnicowanie stężeń w skali terenowej czy globalnej przekracza typowy błąd wynikający z heterogeniczności pokrywy śnieżnej, a zatem wnioskowanie o występowaniu źródeł zanieczyszczeń w terenie czy też globalnych nierównomiernościach zawartości zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej jest uzasadnione. Ilościowo depozycję Cl-TZO określono dla zdarzeń opadowych w rejonie Hornsundu w sezonach wiosennych 2019 i 2021 w **artykule H7**. Ze względu na cel ostatniego badania ściśle związany z wtórnym źródłem tych zanieczyszczeń w postaci aerozolu morskiego, wyniki tych badań depozycji atmosferycznej – z uwzględnieniem wyników z **artykułu H6** – opisano poniżej.

c.) Badania nad proporcją pierwotnych i wtórnych źródeł materii organicznej i wybranych związków organicznych w pokrywie śnieżnej lodowców Svalbardu z wykorzystaniem zróżnicowania przestrzennego stężeń oznaczonych w próbkach pobranych z pokrywy śnieżnej

W pierwszej dekadzie XXI wieku stwierdzono, że lodowce mogą stanowić wtórne źródła zanieczyszczeń organicznych dla ekosystemów położonych poniżej, w wyniku zmian klimatu prowadzących do topnienia lodu zgromadzonego w okresie wysokich emisji związków chemicznych (Blais i in., 2001; Bogdal i in., 2010; Schmid i in., 2011), pomimo że ich dalsze użycie jest ograniczone bądź zakazane (Sekretariat Konwencji Sztokholmskiej, 2025). Uwalnianie się zanieczyszczeń ze współczesnej pokrywy śnieżnej na lodowcach nie jest jednak tożsame z uwalnianiem się zanieczyszczeń z lodu lodowcowego - te dwa procesy eksponują różnoczasowe źródła pochodzenia uwalnianych zanieczyszczeń. Oba procesy mogą być jednak istotnym źródłem zanieczyszczeń dla ekosystemów zasilanych wodami z topnienia lodowców czy pokrywy śnieżnej (Bizzotto i in., 2009). Co ważne, zanieczyszczenia pochodzące ze współczesnej pokrywy śnieżnej mają charakter bieżący i podlegają współczesnym wysiłkom na rzecz ograniczenia stopnia zanieczyszczenia, podczas gdy substancje chemiczne zgromadzone w lodzie lodowcowym mają charakter odziedziczony, a ich uwalnianie podlega jedynie mitygacji w zakresie związanym

z ograniczaniem topnienia lodu lodowcowego. Stąd rozróżnienie tych dwóch źródeł, których wpływ na wody proglacjalne może być połączony, jest nieraz istotne w kontekście możliwości ograniczania problemów z zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego Arktyki. Źródła zanieczyszczeń organicznych i materii organicznej na lodowcach mają również znaczenie w kontekście obiegu węgla (Hood i in., 2015; Lawson i in., 2013; Stibal i in., 2010, 2008), albedo powierzchni lodowca (Cook i in., 2016; Goelles i in., 2015; Takeuchi, 2002; Takeuchi i in., 2019, 2015), oraz istnienia ekosystemów na powierzchni lodowców (Anesio i in., 2017; Hodson i in., 2008; Stibal i in., 2012a, 2012b).

W **artykule H2**, w odniesieniu do pokrywy śnieżnej na lodowcu, przedstawiono wyniki obserwacji wskazujących na znaczne zróżnicowanie przestrzenne stężeń OWO, nawiązujące do zróżnicowania ekwiwalentu wodnego (e.w.) śniegu, podczas gdy efektu tego nie zaobserwowano dla RWO. Zjawiska takie mogą być wynikiem nawiewania zarówno śniegu, jak materii organicznej w postaci pyłu eolicznego w obszary lodowca, gdzie e.w. śniegu osiąga najwyższe wartości. Mogą być też efektem mechanicznego usuwania cząstek pyłowych przez płatki śniegu z atmosfery podczas opadu. Istotną rolę w kształtowaniu stężeń OWO w pokrywie śnieżnej mogły również odgrywać wspomniane wcześniej procesy podepozycyjne (które mogą się także przyczyniać do transformacji ZWO w RWO), podczas gdy pierwotne źródła są najprawdopodobniej mieszane, antropogeniczno-eoliczno-biologiczne. Wśród wszystkich źródeł OWO dla powierzchni lodowca, pokrywa śnieżna charakteryzowała się największym zróżnicowaniem przestrzennym stężeń w stosunku do wytapiania z lodu lodowcowego i produkcji biologicznej, choć wartości te mieściły się w zakresie podawanym przez innych autorów badań przeprowadzonych w Arktyce i na lodowcach półkuli północnej (Lafrenière i Sharp, 2011; Xu i in., 2006; Yan i in., 2015). W obu latach, w których dokonano obserwacji (2011 i 2012), depozycja OWO w pokrywie śnieżnej osiągała najwyższe wartości w okolicach czoła badanego lodowca, tj. na najniższej położonym jego fragmencie (<500 m n.p.m.). W Tabeli 1 zawartej w cytowanym artykule dokonano również krótkiego przeglądu literatury dotyczącej ładunków materii organicznej na lodowcach pochodzącej z różnych źródeł, wskazując na globalnie istotną rolę lodowców w retencji węgla organicznego, ale także trudność w porównaniu istniejących oszacowań, wyrażanych w różnych jednostkach i o zróżnicowanym zasięgu przestrzennym.

W **artykule H3**, przedstawiono wyniki oznaczeń OWO i wykorzystano je pomocniczo do interpretacji pochodzenia metali i metaloidów w pokrywie śnieżnej na Lodowcu Hansa. Przyjęto wówczas, że gdyby w pobranych próbkach występowało istotne zanieczyszczenie pierwiastkami metalicznymi z lokalnej emisji spalin skuterowych, to próbki śniegu będą zawierały również materię organiczną pochodzącą ze spalin (z niecałkowitego spalania paliwa organicznego), a zatem wystąpi istotna korelacja między stężeniem wybranych pierwiastków metalicznych a stężeniem OWO. Ponieważ takich zależności nie stwierdzono, uznano, że wpływ spalin skuterowych na zbadane stężenia pierwiastków metalicznych był nieistotny.

W **artykule H4** przedstawiono dyskusję zmienności stężeń wybranych związków organicznych w różnych elementach środowiska lodowcowego w ramach systematycznego przeglądu literatury dla półkuli północnej, dotyczącego problemu uwalniania zanieczyszczeń organicznych z lodowców. Wśród opisywanych lokalizacji, znaczące miejsce zajęły lodowce Arktyki, dotąd słabiej poznane pod względem tego zjawiska. Uwalnianie zanieczyszczeń organicznych może mieć miejsce zarówno z topniejącego lodu lodowcowego, lodu nałożonego, jak i ze współczesnej pokrywy śnieżnej. Rozróżnienie to jest istotne m.in. dla przewidywania, z jakimi stężeniami zanieczyszczeń organicznych trzeba będzie się zmierzyć w przyszłości w rzekach i strumieniach lodowcowych, i czy będą one stanowiły zagrożenie ekotoksykologiczne dla miejscowej ludności. Obecne badania nie pozwalają jeszcze w pełni odpowiedzieć na te pytania, jednak dzięki przeprowadzonemu przeglądowi literatury,

znacząco wzrosło zrozumienie przestrzennego aspektu tego problemu dla lodowców półkuli północnej (gdzie występuje znaczna większość lodowców kończących się na lądzie i potencjalnie związanych – jako źródło wody i środowisko życia poławianych ryb – z lokalnymi społecznościami). Cel badań, związany częściowo z zagrożeniem zanieczyszczenia wody pitnej i użytkowej dla ludności, wpłynął na wybór lodowców z czołem na lądzie do przeglądu literaturowego, jednak warto podkreślić, że w momencie publikacji tej pracy informacji o lodowcach uchodzących do morza jako wtórnym źródle związków organicznych było bardzo niewiele. W szczególności, dwie prace wskazujące na istnienie tego problemu na archipelagu Svalbard (Ademollo i in., 2021; Pouch i in., 2021) ukazały się niemal równocześnie z **artykułem H4**.

Przegląd literatury obejmował cztery grupy związków chemicznych (PCO, PCB, PBDE i WWA). Obok zróżnicowania stężeń tych związków chemicznych w różnych elementach środowiska związanych z systemem lodowcowym (od powietrza atmosferycznego, poprzez pokrywę śnieżną, lód lodowcowy, po wody i osady jezior proglacialnych), uwzględniono także procesy łączące te elementy i przyczyniające się do zmiany stężeń związków chemicznych, jak również zmienność przestrzenną tempa topnienia lodowców na półkuli północnej i miąższość zakumulowanej, potencjalnie zanieczyszczonej warstwy firnu i lodu. Podsumowano również niewielką dostępną pulę prac nt. ryzyka toksykologicznego związanego ze spożywaniem wody pochodzącej z topnienia lodowców oraz żyjących w nich ryb, przy czym istotne jest, że ten drugi sposób korzystania z wód może zwiększać ryzyko zachorowania na raka wśród społeczności zamieszkujących zlewnie zlodowacone. Za taki efekt toksykologiczny odpowiedzialna jest bioakumulacja związków chemicznych z grupy TZO. Ustalono, że ze względu na proces zimnej kondensacji, nasilający się transport wyemitowanych zanieczyszczeń organicznych średniołotnych w kierunku Arktyki, oraz dalsze prognozowane zasilanie lodowców poprzez opady śniegu w Arktyce, proces odkładania się zanieczyszczeń w lodowcach Arktyki może być kontynuowany, a ich uwalnianie z lodowców Arktyki - osiągnąć w przyszłości proporcjonalnie większy rozmiar niż obecnie (**H4**).

Zarówno badania stężeń OWO (**H2**), jak i porównanie opublikowanych stężeń związków organicznych w pokrywie śnieżnej na lodowcach półkuli północnej (**H4**), wskazują na znaczne zróżnicowanie przestrzenne tych stężeń w różnych skalach przestrzennych. Pokrywa śnieżna jest substancją złożoną o nierównomiernej strukturze: składa się z zamrożonej wody (kryształów lodu), wody ciekłej, powietrza w przestrzeniach między kryształami lodu, a także rozpuszczonych w wodzie i powietrzu substancji, jak również cząstek stałych różnego rodzaju zanieczyszczeń pyłowych, pozostających na powierzchni kryształów lodu i wewnątrz ich struktury. Ponadto, struktura fizyczna pokrywy śnieżnej zależy od wpływu elementów pogody, takich jak temperatura powietrza i usłonecznienie, kierunek i prędkość wiatru (warunkujących procesy przewiewania śniegu), występowanie kolejnych opadów śniegu nadbudowujących pokrywę śnieżną, ale także opadów deszczu w okresie akumulacji pokrywy śnieżnej. Opad deszczu może przyczynić się do częściowego topnienia pokrywy śnieżnej, a następnie powstawania soczewek i warstw lodowych w jej obrębie. Suma wielu czynników składa się na ostateczny obraz stężeń substancji w pokrywie śnieżnej, szczególnie w przypadku substancji zawartych w cząstkach stałych (zanieczyszczeniach pyłowych) w obrębie pokrywy śnieżnej, które mogą być bardzo nierównomiernie rozmieszczone. Jednakże, w przypadku zapisów przeszłości w rdzeniach lodowych, powstałych z wieloletniej akumulacji śniegu, często czyni się założenie, że wartości stężeń określone w rdzeniu lodowym są reprezentatywne dla szerszego obszaru.

W **artykule H6** rozważono wpływ zróżnicowanych stężeń w pokrywie śnieżnej dla związków z grup polichlorowanych bifenyli (PCB) i pestycydów chlorowcoorganicznych (PCO) na możliwość interpretacji różnic między zapisami depozycji tego rodzaju związków

z różnych lodowców półkuli północnej (przyjmując, że stężenie w lodzie lodowcowym jest lokalnie odziedziczone po pokrywie śnieżnej, co jest jedynie przybliżeniem rzeczywistości – jak wskazują rozważania przedstawione w **podpunkcie b**, dotyczące pracy **H4**). Porównano stężenia w próbkach pobranych w skali lokalnej – w odstępie kilku metrów od siebie – ze stężeniami określonymi w próbkach pobranych w skali jednej formy terenu (lodowca lub doliny niezlodowaczonej), a te znów zestawiono ze zróżnicowaniem przestrzennym stężeń tych związków za **artykułem H4**. Określone współczynniki zmienności (nieparametryczne, ze względu na brak rozkładu normalnego danych) wskazują na zmienność lokalną rzędu 20-58% dla PCO i 33-54% dla PCB, podczas gdy zmienność w obrębie jednej formy terenu (lodowca lub doliny niezlodowaczonej) wynosiła 21-69% dla PCO i 65-93% dla PCB (uzyskano różne wartości procentowe dla różnych związków chemicznych w ramach każdej z grup). Na podstawie tych danych, ustalono, że przybliżoną wartością docelową zmienności do interpretacji zmian w przestrzeni, które nie wynikają z czynników losowych związanych ze strukturą pokrywy śnieżnej, jest ok. 40-60% w przypadku próbkowania punktowego (zależnie od związku chemicznego). Aby zmniejszyć wartość niepewności pomiarowej związanej z lokalną zmiennością, zalecane jest uśrednianie wyników dla próbek pobieranych z większej powierzchni (lub pobieranie próbki mieszanej, reprezentującej większą powierzchnię), co jest możliwe w przypadku świeżego opadu śniegu. W przypadku interpretacji różnic między stężeniami związków organicznych w rdzeniach śnieżnych czy lodowych, warto wziąć pod uwagę podane wartości współczynnika zmienności, które świadczą o tym, że np. zmierzone różnice stężeń rzędu 40-50% dla np. izomerów HCH (heksachlorocykloheksanu) między dolinami w Alpach Tyrolskich (Arellano i in., 2014) nie rozstrzygają o ich faktycznej, istotnej różnicy pod względem ładunku depozycji atmosferycznej. Należy jednak zaznaczyć, że badania zakumulowanej sezonowej pokrywy śnieżnej w Górach Skalistych (Hageman i in., 2010) wskazywały dla 61 próbek współczynnik zmienności rzędu 15% dla PCO, co sugerowałoby bardziej stabilne, uśrednione parametry w przypadku pokrywy śnieżnej, która podlegała metamorfozie. Co więcej, zgodnie z prawidłami matematycznymi (Miller i Miller, 2005), parametry sumaryczne, składające się ze stężeń kilku związków z tej samej grupy, charakteryzowały się mniejszą zmiennością losową (odpowiednio 23% i 38% dla sumy PCO i sumy PCB – podano za **artykułem H6**), zatem jako przedmiot porównań przestrzennych umożliwiają wnioskowanie z mniejszym prawdopodobieństwem błędu i wyciąganie istotnych wniosków w przypadku mniejszych różnic między lokalizacjami. Dodatkowo, należy także zauważyć, że stężenia zanieczyszczeń organicznych w pokrywie śnieżnej są typowo bardzo niskie, a stężenia niektórych związków z badanej grupy nieprzekraczające granicy oznaczalności metody analitycznej uniemożliwiały obliczenie parametrów zmienności przestrzennej. Na najwyższe współczynniki zmienności wpływały przede wszystkim podwyższone wartości stężeń, występujące w pojedynczych próbkach, co sugeruje ich pochodzenie z cząstek pyłowych nierównomiernie rozmieszczonych w pokrywie śnieżnej.

Dzięki wyrażeniu liczbowo wpływu zmienności losowej (w macierzy pokrywy śnieżnej) w skali lokalnej na wnioski z porównań przestrzennych stężeń w pokrywie śnieżnej w większych skalach przestrzennych, można było przeprowadzić prawidłową interpretację eksperymentu terenowego opisanego w **artykule H7**. W eksperymencie tym zostały uwzględnione próbki będące przedmiotem badań w **artykule H6** (wyniki badań z sezonu arktycznej wiosny 2019), jak również nowe, zebrane w innym sezonie wiosennym (arktyczną wiosną 2021) w okolicach Polskiej Stacji Polarnej Hornsund. Do nowego sezonu badań zastosowano poprawiony model zbierania próbek, pozwalający na uśrednianie wyników dla większej powierzchni ($>1\text{ m}^2$), co doprowadziło do niższej zmienności losowej w zmierzonych stężeniach niż określono w **artykule H6**. Wnioski z **artykułu H7** zostały jednak

w pełni oparte na zmienności przestrzennej przekraczającej margines dla efektów losowych występujących lokalnie za **artykułem H6**.

W **artykule H7**, przedstawiono dyskusję dotyczącą różnic w stężeniach PCO i PCB w śniegu w aspekcie przestrzennym i czasowym. Dzięki temu wykryto dodatkowe źródło deponowanych w pokrywie śnieżnej związków chemicznych tych dwóch grup. Postawiono hipotezę o zwiększonym rozpraszaniu tych związków poprzez aerozol morski, za sprawą ich wzbogacenia w mikrowarstwie powierzchniowej wody morskiej, a także w konsekwencji zmniejszania się zasięgu pokrywy lodu morskiego (Gascard i in., 2019) i częstszego występowania pogody sztormowej w okresie wiosennym w Arktyce (Atkinson, 2005; Waseda i in., 2021). Ostatnie dwa czynniki powodują zwiększone rozpraszanie kropeł wody morskiej, tworzących aerozol atmosferyczny i zawierających związki chemiczne preferencyjnie transportowane do Arktyki w wodzie morskiej, a nie w powietrzu atmosferycznym. Należy zauważyć, że daleki transport atmosferyczny doprowadził do stężeń związków z grup PCO i PCB o rząd wielkości większych niż nowy mechanizm związany z aerozolem morskim. Świadczy o tym różnica między stężeniami w pokrywie śnieżnej w 2019 i 2021 roku, z których 2019 rok charakteryzował się epizodami śnieżnymi związanymi z napływem mas powietrza z Europy i Azji Północnej, podczas gdy w 2021 roku epizody opadowe wystąpiły w sytuacjach napływu mas arktycznego powietrza znad Cieśniny Framy oraz Grenlandii. Jednak skutki dodatkowego źródła PCO i PCB były zauważalne, w szczególności na Lodowcu Werenskiölda podczas epizodu opadowego z 21 kwietnia 2021, kiedy teren ten był eksponowany na napływ mas powietrza znad otwartego morza (pozbawionego lodu morskiego w okolicach przybrzeżnych). Podwyższone stężenia na tym lodowcu wystąpiły dla tych samych związków chemicznych, które były wzbogacone w mikrowarstwie powierzchniowej wody morskiej, a zatem dla β -HCH, o,p'-DDT (dichlorodifenylotrichloroetan), p,p'-DDT, oraz cięższych PCB, w szczególności PCB 169. Różnica była również zauważalna dla (mniej podatnych na wpływ losowych błędów) parametrów sumarycznych: sumy HCH, sumy DDT i metabolitów, oraz sumy PCB. Warto podkreślić, że w pracy **H7** przedstawiono wyniki wskaźników izotopowych, dzięki którym zweryfikowano czy próbka reprezentowała świeży opad atmosferyczny.

Co ciekawe, wystąpiła zależność stężeń PCO i PCB od wysokości n.p.m., jednak stężenia te zwiększały się wraz z odległością od morza. Jest to zgodne z obserwacjami Cincinelli i in. (2005, 2001) dla WWA w Antarktyce o depozycji mniejszych cząstek aerozolu w większej odległości od morza i ich wzbogaceniu w związki organiczne względem cząstek większych, zawierających wyższe stężenia sodu. Zjawisko to może również tłumaczyć brak korelacji między stężeniami PCO i PCB a typowymi wskaźnikami wpływu aerozolu morskiego, takimi jak stężenia sodu.

Dyskusja wyników przeprowadzonych badań

Przedstawione badania informują łącznie o znacznej roli aerozolu morskiego w depozycji atmosferycznej pierwiastków i związków chemicznych w pokrywie śnieżnej na Svalbardzie, szczególnie w jego południowej części (**artykuły H3, H5, H7**), przy znacznym zróżnicowaniu przestrzennym i czasowym tego procesu. Uwzględnienie takiego zróżnicowania w analizach statystycznych pozwala na bardziej efektywne grupowanie substancji zanieczyszczających według ich źródeł pierwotnych (**artykuły H3, H5, H7**). Z drugiej strony, znaczne zróżnicowanie przestrzenne stężeń związków z grupy chlorowanych TZO w pokrywie śnieżnej stanowi wyzwanie dla badań geograficznych zanieczyszczenia pokrywy śnieżnej i powinno być uwzględniane jako czynnik niepewności w planowaniu badań i ich interpretacji (**artykuł H6**). Przy odpowiednim zaplanowaniu eksperymentów terenowych, możliwe jest wykrycie nowych procesów wpływających na stężenia związków z grupy chlorowanych TZO w pokrywie śnieżnej (**artykuł H7**), czy też określenie proporcji

między dostawami materii organicznej do powierzchni lodowca (**praca H2**), źródłami jonów nieorganicznych (**H5**), czy metali i metaloidów (**H3**), a także odpowiednia interpretacja stężeń w skali hemisferycznej (**H4, H6**). Dla interpretacji, czy i w jakim stopniu lodowce mogą stanowić wtórne źródła zanieczyszczeń organicznych (**H1, H4**) czy materii organicznej (**H2**), istotne są także procesy podepozycyjne, związane z topnieniem śniegu i ponownym zamarzaniem wody w pokrywie śnieżnej, i tworzeniem się lodu nałożonego. Inne czynniki geograficzne również wpływają na możliwość występowania zjawiska wtórnej emisji TZO z lodowców, np. odległość od morza, występowanie lodu morskiego, czy narażenie na daleki transport zanieczyszczeń (**H7**). Istotną rolę odgrywają również historia i prognozy bilansu masy lodowców względem okresu wzmożonej emisji zanieczyszczeń, włącznie z przewidywanym trendem opadów śniegu w przyszłości, oraz geometria lodowców (**artykuł H4**).

4.2. Wkład osiągnięcia w dyscyplinę nauki o Ziemi i środowisku

Przedstawiony cykl publikacji łącznie poszerza dotychczasową wiedzę o źródłach substancji chemicznych w Arktyce. Dzięki analizom czasowym i przestrzennym stężeń jonów nieorganicznych, metali i metaloidów, węgla organicznego oraz związków organicznych w pokrywie śnieżnej, wskazano nowe możliwości przypisania ilościowego i wykrywania źródeł morskich, geogenicznych oraz antropogenicznych substancji w pokrywie śnieżnej lodowców Arktyki. Wskazano również na rolę procesów podepozycyjnych w kształtowaniu stężeń substancji organicznych w pokrywie śnieżnej na lodowcach arktycznych, w zakresie dotąd nie przebadanym. W referowanym osiągnięciu wskazano również, że możliwe jest bilansowanie dostawy i usuwania związków organicznych w arktycznym lodowcu. Źródła trwałych zanieczyszczeń organicznych w pokrywie śnieżnej można skutecznie identyfikować dzięki kompleksowym analizom składu chemicznego próbek śniegu połączonym z analizami statystycznymi oraz analizą trajektorii mas powietrza i analizą zasięgu lodu morskiego, jak również dzięki wskaźnikom izotopowym, co zademonstrowano na przykładach ze Svalbardu. Nowością naukową przedstawionych badań jest wieloaspektowa analiza, właściwa podejściu geograficznemu, tj. uwzględniająca nie tylko stężenia wielu substancji chemicznych i ich możliwe źródła, ale także kontekst meteorologiczny, topograficzny, warunków lodowych, oraz okres wystąpienia analizowanych zjawisk w kontekście zmienności sezonowej i międzyrocznej. Podejście to pozwoliło na wyciągnięcie (do tej pory niedostępnych) wniosków o źródłach i losach substancji chemicznych w systemach kriosferycznych pokrywy śnieżnej i lodowców. Niektóre z przyjętych metod badawczych mogą mieć również zastosowanie do innych środowisk kriosferycznych, takich jak wieloletnia zmarzlina i lód morski.

Problem wtórnych źródeł i redystrybucji zanieczyszczeń typowych dla kriosfery arktycznej ma złożoną naturę i stanowi obecnie przedmiot zainteresowania licznych badaczy z pogranicza dziedzin nauk o Ziemi i środowisku, nauk chemicznych i nauk biologicznych, wskazując na duży potencjał otwierania nowych ścieżek badawczych, inspirowanych tego rodzaju wynikami. **Uwzględnienie nowych wniosków z przedstawionych badań łącznie otwiera drogę do określenia, jak efektywne jest gromadzenie się różnego typu substancji chemicznych – w tym zanieczyszczeń - w kriosferze. Istotnym aspektem wyników omówionych badań jest fakt, że w środowiskach kriosferycznych lodowców i pokrywy śnieżnej może występować istotny krótkoterminowy rezerwuuar związków organicznych o właściwościach hydrofobowych związany z ponownym zamarzaniem wód z topnienia śniegu (lodem nałożonym). Do tej grupy związków należą liczne zanieczyszczenia klasyfikowane jako trwałe zanieczyszczenia organiczne, zatem spostrzeżenia te mają istotne implikacje dla arktycznych ekosystemów i lokalnych społeczności, znajdujących się pod**

znaczną presją czynników środowiskowych, związanych ze zmianami klimatu i transportem zanieczyszczeń na dalekie odległości.

Spis cytowanej literatury:

- ACIA, 2005. Impacts of a warming Arctic: Arctic climate impact assesment.
- Ademollo, N., Spataro, F., Rauseo, J., Pescatore, T., Fattorini, N., Valsecchi, S., Polesello, S., Patrolecco, L., 2021. Occurrence, distribution and pollution pattern of legacy and emerging organic pollutants in surface water of the Kongsfjorden (Svalbard, Norway): Environmental contamination, seasonal trend and climate change. *Mar. Pollut. Bull.* 163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111900>
- Alexander, V., 1995. The influence of the structure and function of the marine food web on the dynamics of contaminants in Arctic Ocean ecosystems. *Sci. Total Environ.* 160–161, 593–603. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04394-G](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04394-G)
- AMAP, 2017. Snow ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). Oslo, Norway. <https://doi.org/10.1029/2002WR001512>
- AMAP, 2011. Combined Effects of Selected Pollutants and Climate Change in the Arctic Environment. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo.
- AMAP, 2004. Persistent toxic substances: food security and indigenous peoples of the Russian north: final report. Chapter 4. Persistant toxic substances (PTS) sources and pathways. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo.
- Amore, A., Giardi, F., Becagli, S., Caiazza, L., Mazzola, M., Severi, M., Traversi, R., 2022. Source apportionment of sulphate in the High Arctic by a 10 yr-long record from Gruvebadet Observatory (Ny-Ålesund, Svalbard Islands). *Atmos. Environ.* 270. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118890>
- Anesio, A.M., Lutz, S., Christmas, N.A.M., Benning, L.G., 2017. The microbiome of glaciers and ice sheets. *npj Biofilms Microbiomes* 3. <https://doi.org/10.1038/s41522-017-0019-0>
- Arellano, L., Grimalt, J.O., Fernández, P., Lopez, J.F., Nickus, U., Thies, H., 2014. Persistent organic pollutant accumulation in seasonal snow along an altitudinal gradient in the Tyrolean Alps. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 12638–12650. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3196-x>
- Atkinson, D.E., 2005. Observed storminess patterns and trends in the circum-Arctic coastal regime. *Geo-Marine Lett.* 25, 98–109. <https://doi.org/10.1007/s00367-004-0191-0>
- Bard, S.M., 1999. Global transport of anthropogenic contaminants and the consequences for the Arctic marine ecosystem. *Mar. Pollut. Bull.* [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00041-7)
- Bintanja, R., Andry, O., 2017. Towards a rain-dominated Arctic. *Nat. Clim. Chang.* 7, 263–267. <https://doi.org/10.1038/nclimate3240>
- Bizzotto, E.C., Villa, S., Vaj, C., Vighi, M., 2009. Chemosphere Comparison of glacial and non-glacial-fed streams to evaluate the loading of persistent organic pollutants through seasonal snow / ice melt. *Chemosphere* 74, 924–930. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.10.013>
- Blais, J.M., Schindler, D., Muir, D., Sharp, M., Donald, D., Lafrenière, M., Braekevelt, E., Strachan, W., 2001. Melting glaciers: a major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *Ambio* 30, 410–415. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.7.410>
- Bogdal, C., Nikolic, D., Lüthi, M.P., Schenker, U., Scheringer, M., Hungerbühler, K., 2010. Release of Legacy Pollutants from Melting Glaciers: Model Evidence and Conceptual Understanding. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4063–4069. <https://doi.org/10.1021/es903007h>
- Bogdal, C., Schmid, P., Zennegg, M., Anselmetti, F.S., Scheringer, M., Hungerbühler, K., 2009. Blast from the past: melting glaciers as a relevant source for persistent organic pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 43, 8173–7. <https://doi.org/10.1021/es901628x>
- Bonefeld-Jorgensen, E.C., Long, M., Bossi, R., Ayotte, P., Asmund, G., Krüger, T., Ghisari, M., Mulvad, G., Kern, P., Nzulumiki, P., Dewailly, E., 2011. Perfluorinated compounds are related to breast cancer risk in Greenlandic Inuit: A case control study. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source* 10, 88-. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-88/TABLES/4>
- Borgå, K., McKinney, M.A., Routti, H., Fernie, K.J., Giebichenstein, J., Hallanger, I., Muir, D.C.G., 2022. The influence of global climate change on accumulation and toxicity of persistent organic pollutants and chemicals of emerging concern in Arctic food webs. *Environ. Sci. Process.*

- Impacts 24, 1544–1576. <https://doi.org/10.1039/D1EM00469G>
- Brandt, O., Kohler, J., Lütjhe, M., 2008. Spatial mapping of multi-year superimposed ice on the glacier Kongsvegen, Svalbard. *J. Glaciol.* 54, 73–80. <https://doi.org/10.3189/002214308784409080>
- Breivik, K., Alcock, R., Li, Y.-F., Bailey, R.E., Fiedler, H., Pacyna, J.M., 2004. Primary sources of selected POPs: regional and global scale emission inventories. *Environ. Pollut.* 128, 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.08.031>
- Cabrerizo, A., Muir, D.C.G., De Silva, A.O., Wang, X., Lamoureux, S.F., Lafrenière, M.J., 2018. Legacy and Emerging Persistent Organic Pollutants (POPs) in Terrestrial Compartments in the High Arctic: Sorption and Secondary Sources. *Environ. Sci. Technol.* 52, 14187–14197. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05011>
- Cincinelli, A., Stortini, A.M., Checchini, L., Martellini, T., Del Bubba, M., Lepri, L., 2005. Enrichment of organic pollutants in the sea surface microlayer (SML) at Terra Nova Bay, Antarctica: Influence of SML on superficial snow composition. *J. Environ. Monit.* 7, 1305–1312. <https://doi.org/10.1039/b507321a>
- Cincinelli, A., Stortini, A.M., Perugini, M., Checchini, L., Lepri, L., 2001. Organic pollutants in sea-surface microlayer and aerosol in the coastal environment of Leghorn - (Tyrrhenian Sea). *Mar. Chem.* 76, 77–98.
- Cook, J., Edwards, A., Takeuchi, N., Irvine-Fynn, T., 2016. Cryoconite: The dark biological secret of the cryosphere. *Prog. Phys. Geogr.* 40, 66–111. <https://doi.org/10.1177/0309133315616574>
- Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., Van Aardenne, J.A., Monni, S., Doering, U., Olivier, J.G.J., Pagliari, V., Janssens-Maenhout, G., 2018. Gridded emissions of air pollutants for the period 1970-2012 within EDGAR v4.3.2. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 1987–2013. <https://doi.org/10.5194/ESSD-10-1987-2018>
- Dai, S., Zhang, G., Dong, C., Yang, R., Pei, Z., Li, Y., Li, A., Zhang, Q., Jiang, G., 2025. Occurrence, bioaccumulation and trophodynamics of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in terrestrial and marine ecosystems of Svalbard, Arctic. *Water Res.* 271, 122979. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122979>
- Das, D., Athulya, R., Chakraborty, T., Ray, A., Hens, C., Dana, S.K., Ghosh, D., Murukesh, N., 2025. Pattern change of precipitation extremes in Svalbard. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92339-4>
- Depta, J., Niedźwiedzka-Rystwej, P., 2023. The Phenomenon of Antibiotic Resistance in the Polar Regions: An Overview of the Global Problem. *Infect. Drug Resist.* Volume 16, 1979–1995. <https://doi.org/10.2147/IDR.S369023>
- Dietz, R., Letcher, R.J., Desforges, J.P., Eulaers, I., Sonne, C., Wilson, S., Andersen-Ranberg, E., Basu, N., Barst, B.D., Bustnes, J.O., Bytingsvik, J., Ciesielski, T.M., Drevnick, P.E., Gabrielsen, G.W., Haarr, A., Hylland, K., Jenssen, B.M., Levin, M., McKinney, M.A., Nørregaard, R.D., Pedersen, K.E., Provencher, J., Styrishave, B., Tartu, S., Aars, J., Ackerman, J.T., Rosing-Asvid, A., Barrett, R., Bignert, A., Born, E.W., Branigan, M., Braune, B., Bryan, C.E., Dam, M., Eagles-Smith, C.A., Evans, M., Evans, T.J., Fisk, A.T., Gamberg, M., Gustavson, K., Hartman, C.A., Helander, B., Herzog, M.P., Hoekstra, P.F., Houde, M., Hoydal, K., Jackson, A.K., Kucklick, J., Lie, E., Loseto, L., Mallory, M.L., Miljeteig, C., Mosbech, A., Muir, D.C.G., Nielsen, S.T., Peacock, E., Pedro, S., Peterson, S.H., Polder, A., Rigét, F.F., Roach, P., Saunes, H., Sinding, M.H.S., Skaare, J.U., Søndergaard, J., Stenson, G., Stern, G., Treu, G., Schuur, S.S., Víkingsson, G., 2019. Current state of knowledge on biological effects from contaminants on arctic wildlife and fish. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133792>
- Drotikova, T., Ali, A.M., Halse, A.K., Reinardy, H.C., Kallenborn, R., 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and oxy- and nitro-PAHs in ambient air of the Arctic town Longyearbyen, Svalbard. *Atmos. Chem. Phys.* 20, 9997–10014. <https://doi.org/10.5194/acp-20-9997-2020>
- Dube, N., Smolarz, K., Sokołowski, A., Świeżak, J., Øverjordet, I.B., Ellingsen, I., Wielogórska, E., Sørensen, L., Walecka, D., Kwaśniewski, S., 2024. Human pharmaceuticals in the arctic – A review. *Chemosphere* 364, 143172. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143172>
- Emberson-Marl, H., Coppock, R.L., Cole, M., Godley, B.J., Mimpriss, N., Nelms, S.E., Lindeque, P.K., 2023. Microplastics in the Arctic: a transect through the Barents Sea. *Front. Mar. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1241829>

- Fernández-Llamazares, Á., Garteizgogeoasca, M., Basu, N., Sonnewend Brondizio, E., Cabeza, M., Martínez-Alier, J., McElwee, P., Reyes-García, V., 2019. A State-of-the-Art Review of Indigenous Peoples and Environmental Pollution. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 16, 324. <https://doi.org/10.1002/ieam.4239>
- Fisk, A.T., Hobson, K.A., Norstrom, R.J., 2001. Influence of chemical and biological factors on trophic transfer of persistent organic pollutants in the Northwater Polynya marine food web. *Environ. Sci. Technol.* 35, 732–738. <https://doi.org/10.1021/ES001459W>
- Førland, E.J., Benestad, R., Hanssen-Bauer, I., Haugen, J.E., Skaugen, T.E., 2011. Temperature and Precipitation Development at Svalbard 1900–2100. *Adv. Meteorol.* 2011, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2011/893790>
- Gascard, J.-C., Zhang, J., Rafizadeh, M., 2019. Rapid decline of Arctic sea ice volume: Causes and consequences. <https://doi.org/10.5194/tc-2019-2>
- Goelles, T., Bøggild, C.E., Greve, R., 2015. Ice sheet mass loss caused by dust and black carbon accumulation. *Cryosphere* 9, 1845–1856. <https://doi.org/10.5194/tc-9-1845-2015>
- Gou, L., Song, S., Huang, T., Ling, Z., Chen, K., Xin, J., Geng, E., Wang, J., Zhao, Y., Gao, H., Ma, J., 2024. Dioxins in the Arctic: local sources vs. long-range transport. <https://doi.org/10.1039/d4va00202d>
- Gould, C.F., Heft-Neal, S., Johnson, M., Aguilera, J., Burke, M., Nadeau, K., 2024. Health Effects of Wildfire Smoke Exposure. *Annu. Rev. Med.* 75, 277–292. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-MED-052422-020909/1>
- Greenaway, K.R., 1950. Experiences with Arctic flying weather. *R. Meteorol. Soc. Can. Branch.*
- Gunnarsdóttir, M.J., Sigrún, S.S., Omasdóttir, T., Olgeir“orlygsson, O.O., Hrunn, H., Andradóttir, H., Andradóttir, A., Gardarsson, S.M., 2025. Impact of wildfires on the drinking water catchment for the capital area of Iceland – a case study. *Environ. Sci. Adv.* 4, 606–618. <https://doi.org/10.1039/D4VA00352G>
- Gunnarsdóttir, R., Deinboll, P., Erland, P., Villumsen, A., Kallenborn, R., 2013. A review of wastewater handling in the Arctic with special reference to pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and microbial pollution. *Ecol. Eng.* 50, 76–85.
- Hageman, K.J., Hafner, W.D., Campbell, D.H., Jaffe, D.A., Landers, D.H., Simonich, S.L.M., 2010. Variability in Pesticide Deposition and Source Contributions to Snowpack in Western U.S. National Parks. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4452–4458. <https://doi.org/10.1021/es100290q>
- Hansen, K.M., Christensen, J.H., Geels, C., Silver, J.D., Brandt, J., 2015. Modelling the impact of climate change on the atmospheric transport and the fate of persistent organic pollutants in the Arctic. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 6549–6559. <https://doi.org/10.5194/acp-15-6549-2015>
- Hansen, K.M., Halsall, C.J., Christensen, J.H., 2006. A dynamic model to study the exchange of gas-phase POPs between air and a seasonal snowpack. *Environ. Sci. Technol.* 40, 2644–2652. <https://doi.org/10.1021/es051685b>
- Hansen, K.M., Halsall, C.J., Christensen, J.H., Brandt, J., Frohn, L.M., Geels, C., Skjøth, C.A., 2008. The role of the snowpack on the fate of alpha-HCH in an atmospheric chemistry-transport model. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2943–2948. <https://doi.org/10.1021/es7030328>
- Hantemirov, R.M., Corona, C., Guillet, S., Shiyatov, S.G., Stoffel, M., Osborn, T.J., Melvin, T.M., Gorlanova, L.A., Kukarskih, V. V., Surkov, A.Y., von Arx, G., Fonti, P., 2022. Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia. *Nat. Commun.* 13, 4968. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32629-x>
- Harrison, R.M., 2013. Air Pollution: Sources, Concentrations and Measurements. *Pollut. Causes, Eff. Control* 157–181. <https://doi.org/10.1039/BK9781849736480-00157>
- Harrison, R.M., 1986. Secondary pollutants, in: *Handbook of Air Pollution Analysis*. Chapman and Hall Ltd.
- Hartz, W.F., Björnsdóttir, M.K., Yeung, L.W.Y., Humby, J.D., Eckhardt, S., Evangeliou, N., Ericson Jogsten, I., Kärrman, A., Kallenborn, R., 2024. Sources and Seasonal Variations of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Surface Snow in the Arctic. *Environ. Sci. Technol.* 58, 21817–21828. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c08854>
- Hodson, A., Roberts, T.J., Engvall, A.-C., Holmén, K., Mumford, P., 2009. Glacier ecosystem response to episodic nitrogen enrichment in Svalbard, European High Arctic. *Biogeochemistry* 98, 171–184. <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9384-y>

- Hodson, A.A.J., Anesio, A.M., Tranter, M., Fountain, A., Osborn, M., Priscu, J.C., Laybourn-Parry, J., Sattler, B., 2008. Glacial ecosystems. *Ecol. Monogr.* 78, 41–67. <https://doi.org/10.1890/07-0187.1>
- Hood, E., Battin, T.J., Fellman, J., O’Neel, S., Spencer, R.G.M., 2015. Storage and release of organic carbon from glaciers and ice sheets. *Nat. Geosci.* 1–6. <https://doi.org/10.1038/ngeo2331>
- Hu, F.S., Higuera, P.E., Duffy, P., Chipman, M.L., Rocha, A. V., Young, A.M., Kelly, R., Dietze, M.C., 2015. Arctic tundra fires: natural variability and responses to climate change. *Front. Ecol. Environ.* 13, 369–377. <https://doi.org/10.1890/150063>
- Huang, X., Xue, L., Wang, Z., Liu, Y., Ding, K., Ding, A., 2024. Escalating Wildfires in Siberia Driven by Climate Feedbacks Under a Warming Arctic in the 21st Century. <https://doi.org/10.1029/2023AV001151>
- Huber, C.J., Eichler, A., Mattea, E., Brüttsch, S., Jenk, T.M., Gabrieli, J., Barbante, C., Schwikowski, M., 2024. High-altitude glacier archives lost due to climate change-related melting. *Nat. Geosci.* 2024 172 17, 110–113. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01366-1>
- Hung, H., Halsall, C., Ball, H., Bidleman, T., Dachs, J., De Silva, A., Hermanson, M., Kallenborn, R., Muir, D., Sühling, R., Wang, X., Wilson, S., 2022. Climate change influence on the levels and trends of persistent organic pollutants (POPs) and chemicals of emerging Arctic concern (CEACs) in the Arctic physical environment - a review. *Environ. Sci. Process. Impacts.* <https://doi.org/10.1039/d1em00485a>
- IPCC, 2023. Climate Change 2023 Synthesis Report IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team]. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- IPCC, W., 2021. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, WMO, UNEP.
- Jensen, P.E., Hennessy, T.W., Kallenborn, R., 2018. Water, sanitation, pollution, and health in the Arctic. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3388-x>
- Jonsson, S., Hansson, M., 1990. Identification of Annual Layers in Superimposed Ice From Storöyjøkulen in Northeastern Svalbard. *Geogr. Ann. Ser. A, Phys. Geogr.* 72 A, 41–54. <https://doi.org/10.1080/04353676.1990.11880299>
- Joranger, E., Semb, A., 1989a. Major ions and scavenging of sulphate in the norwegian arctic. *Atmos. Environ.* 23, 2463–2469. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(89\)90257-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(89)90257-6)
- Joranger, E., Semb, A., 1989b. Major ions and scavenging of sulphate in the norwegian arctic. *Atmos. Environ.* 23, 2463–2469. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(89\)90257-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(89)90257-6)
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd ed, New York. CRC Press LLC, Boca Raton - London - New York - Washington, D.C. <https://doi.org/10.1201/b10158-25>
- Kallenborn, R., Brorström-lundén, E., Reiersen, L., Wilson, S., 2018. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Arctic environments: indicator contaminants for assessing local and remote anthropogenic sources in a pristine ecosystem in change. *Env. Sci Pollut Res* 25, 33001–33013. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9726-6>
- Kallenborn, R., Pedersen, K.B., Muir, D.C.G., Breedveld, G., Gabrielsen, G.W., Vorkamp, K., Reiersen, L.-O., Evenset, A., Corsolini, S., Ademollo, N., Li, Y.-F., Zhang, Z., Langberg, H.A., Hartz, W., von Hippel, F., de Wit, C., Gunnarsdottir, M.J., Jensen, P.E., Kirkelund, G.M., Bengtson Nash, S., Lyche, J.L., Barbaro, E., 2025. Industrial and public infrastructure as local sources of organic contaminants in the Arctic. *Environ. Sci. Adv.* <https://doi.org/10.1039/D5VA00261C>
- Konwencja Sztokholmska w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych. Sztokholm.2001.05.22. - Dz.U.2009.14.76 - OpenLEX [WWW Document], 2001. URL <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dziennik-ustaw/konwencja-sztokholmska-w-sprawie-trwalych-zanieczyszczen-organicznych-17517315> (dostęp 11.03.2026).
- Krawczyk, W.E., Bartoszewski, S.A., Siwek, K., 2008. Rain water chemistry at Calypsobyen, Svalbard. *Polish Polar Res.* 29, 149–162.
- Kühnel, R., Björkman, M.P., Vega, C.P., Hodson, A.J., Isaksson, E., Ström, J., 2013. Reactive nitrogen and sulphate wet deposition at Zeppelin Station, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Res.* 32,

19136. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3402/polar.v32i0.19136>
- Lafrenière, M.J., Sharp, M.J., 2011. The Concentration and Fluorescence of Dissolved Organic Carbon (DOC) in Glacial and Nonglacial Catchments: Interpreting Hydrological Flow Routing and DOC Sources. *Arctic, Antarct. Alp. Res.* 36, 156–165.
- Lawson, E.C., Wadham, J.L., Tranter, M., Stibal, M., Lis, G.P., Butler, C.E.H., Laybourn-Parry, J., Nienow, P., Chandler, D., Dewsbury, P., 2013. Greenland Ice Sheet exports labile organic carbon to the Arctic oceans. *Biogeosciences Discuss.* 10, 19311–19345. <https://doi.org/10.5194/bgd-10-19311-2013>
- Lei, Y.D., Wania, F., 2004. Is rain or snow a more efficient scavenger of organic chemicals? *Atmos. Environ.* 38, 3557–3571. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.039>
- Ma, J., Hung, H., Macdonald, R.W., 2016. The influence of global climate change on the environmental fate of persistent organic pollutants: A review with emphasis on the Northern Hemisphere and the Arctic as a receptor. *Glob. Planet. Change* 146, 89–108. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.09.011>
- Marsz, A.A., Styszyńska, A., 2013. Climate and climate change at Hornsund, Svalbard. Gdynia Maritime University, Gdynia.
- Meyer, T., Lei, Y.D., Muradi, I., Wania, F., 2009a. Organic contaminant release from melting snow. 1. Influence of chemical partitioning. *Environ. Sci. Technol.* 43, 657–62.
- Meyer, T., Lei, Y.D., Muradi, I., Wania, F., 2009b. Organic contaminant release from melting snow. 2. Influence of snow pack and melt characteristics. *Environ. Sci. Technol.* 43, 663–8.
- Meyer, T., Wania, F., 2011. Modeling the elution of organic chemicals from a melting homogeneous snow pack. *Water Res.* 45, 3627–37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.011>
- Migała, K., Łepkowska, E., Osuch, M., Stachnik, Ł., Wawrzyniak, T., Ignatiuk, D., Owczarek, P., 2023. Climate indices of environmental change in the High Arctic: Study from Hornsund, SW Spitsbergen, 1979-2019. *Environ. Sci. Rep.* 14, 91–126. <https://doi.org/10.24425/ppr.2022.143316>
- Migała, K., Łupikasza, E., Osuch, M., Opała-Owczarek, M., Owczarek, P., 2024. Linking drought indices to atmospheric circulation in Svalbard, in the Atlantic sector of the High Arctic. *Sci. Rep.* 14, 2160. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51869-z>
- Migaszewski, Z., Gałuszka, A., 2007. Podstawy geochemii środowiska. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Miller, J.N., Miller, J.C., 2005. Statistics and chemometrics for analytical chemistry, 5th ed. Pearson. Prentice Hall, Harlow.
- Miner, K.R., Blais, J., Bogdal, C., Villa, S., Schwikowski, M., Pavlova, P., Steinlin, C., Gerbi, C., Kreutz, K.J., 2017. Legacy organochlorine pollutants in glacial watersheds: a review. *Environ. Sci. Process. Impacts* 19, 1474–1483. <https://doi.org/10.1039/C7EM00393E>
- Mitchell, M., 1956. Visual range in the polar regions with particular reference to the Alaskan Arctic. *J. Atmos. Terr. Phys. Special Suppl.*, 195–211.
- Moniz, K., Walker, V.K., Shah, V., 2022. Antibiotic resistance in mucosal bacteria from high Arctic migratory salmonids. *Environ. Microbiol. Rep.* 14, 385–390. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12975>
- Muir, D., Gunnarsdóttir, M.J., Koziol, K., von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., 2025. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environ. Sci. Adv.* <https://doi.org/10.1039/D4VA00240G>
- Nadal, M., Marquès, M., Mari, M., Domingo, J.L., 2015. Climate change and environmental concentrations of POPs: A review. *Environ. Res.* 143, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.012>
- Naumczyk, J., 2017. Chemia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Nawrot, A.P., Migała, K., Luks, B., Pakszys, P., Głowacki, P., 2016. Chemistry of snow cover and acidic snowfall during a season with a high level of air pollution on the Hans Glacier, Spitsbergen. *Polar Sci.* 10, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2016.06.003>
- Nipen, M., Hartz, W.F., Bäcklund, A., Schulze, D., Christensen, G., Løge, O.S., Nikiforov, V., Bohlin-Nizzetto, P., 2024. Investigating snow deposition of cyclic siloxanes in an Arctic environment. *Environ. Sci. Adv.* 22.

- Nipen, M., Hartz, W.F., Schulze, D., Christensen, G., Løge, O.S., Nikiforov, V., Bohlin-Nizzetto, P., 2025. Cyclic volatile methyl siloxanes in the terrestrial and aquatic environment at remote Arctic sites. 30.
- Noyes, P.D., Lema, S.C., 2015. Forecasting the impacts of chemical pollution and climate change interactions on the health of wildlife. *Curr. Zool.* 61, 669–689. <https://doi.org/10.1093/czoolo/61.4.669>
- Noyes, P.D., McElwee, M.K., Miller, H.D., Clark, B.W., Van Tiem, L.A., Walcott, K.C., Erwin, K.N., Levin, E.D., 2009. The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environ. Int.* 35, 971–986. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.02.006>
- Obleitner, F., Lehning, M., 2004. Measurement and simulation of snow and superimposed ice at the Kongsvegen glacier, Svalbard (Spitzbergen). *J. Geophys. Res. Atmos.* 109, 4106. <https://doi.org/10.1029/2003JD003945>
- Octaviani, M., Stemmler, I., Lammel, G., Graf, H.F., 2015. Atmospheric Transport of Persistent Organic Pollutants to and from the Arctic under Present-Day and Future Climate. *Environ. Sci. Technol.* 49, 3593–3602. <https://doi.org/10.1021/es505636g>
- Osuch, M., Wawrzyniak, T., 2017. Variations and changes in snow depth at meteorological stations Barentsburg and Hornsund (Spitsbergen). *Ann. Glaciol.* 1–10. <https://doi.org/10.1017/aog.2017.20>
- Parga Martínez, K., Andersen, T.J., da Silva, V., Strand, J., Posth, N.R., 2024. Microplastics deposition in Arctic sediments of Greenland increases significantly after 1950. *Commun. Earth Environ.* 5, 584. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01768-y>
- Pouch, A., Pazdro, K., 2025. Pharmaceutical residues and caffeine in Arctic fjord waters (west Spitsbergen). *Mar. Pollut. Bull.* 212, 117531. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117531>
- Pouch, A., Zaborska, A., Pazdro, K., 2021. Levels of dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls in seawater from the Hornsund fjord (SW Svalbard). *Mar. Pollut. Bull.* 162, 111917. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111917>
- Quinn, P.K., Collins, D.B., Grassian, V.H., Prather, K.A., Bates, T.S., 2015. Chemistry and Related Properties of Freshly Emitted Sea Spray Aerosol. <https://doi.org/10.1021/cr500713g>
- Quinn, P.K., Shaw, G., Andrews, E., Dutton, E.G., Ruoho-Airola, T., Gong, S.L., 2007. Arctic haze: Current trends and knowledge gaps. *Tellus, Ser. B Chem. Phys. Meteorol.* 59, 99–114. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2006.00236.x>
- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., Laaksonen, A., 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun. Earth Environ.* 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Reimann, S., Kallenborn, R., Schmidbauer, N., 2009. Severe aromatic hydrocarbon pollution in the Arctic town of Longyearbyen (Svalbard) caused by snowmobile emissions. *Environ. Sci. Technol.* 43, 4791–4795. <https://doi.org/10.1021/es900449x>
- Ribeiro, F.D.M., Kruglianskas, I., 2015. Principles of environmental regulatory quality: A synthesis from literature review. *J. Clean. Prod.* 96, 58–76. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.03.047>
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2021 poz. 1475)
- Rudnicka-Kępa, P., Zaborska, A., 2021. Sources, fate and distribution of inorganic contaminants in the Svalbard area, representative of a typical Arctic critical environment-a review. *Environ. Monit. Assess.* 724. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09305-6>
- Russell, V.S., 1974. Pollution: Concept and definition. *Biol. Conserv.* 6, 157–161. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(74\)90060-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(74)90060-3)
- Rylander, C., Odland, J.Ø., Sandanger, T.M., 2011. Climate change and environmental impacts on maternal and newborn health with focus on Arctic populations. *Glob. Health Action* 4, 8452. <https://doi.org/10.3402/gha.v4i0.8452>
- Schmid, P., Bogdal, C., Blüthgen, N., Anselmetti, F.S., Zwysig, A., Hungerbühler, K., 2011. The missing piece: sediment records in remote mountain lakes confirm glaciers being secondary sources of persistent organic pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 45, 203–8.

- <https://doi.org/10.1021/es1028052>
- Sekretariat Konwencji Sztokholmskiej, 2025. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutant (POPs) - tekst i aneksy w wersji poprawionej, aktualnej na rok 2025.
- Shannon, S., Smith, R., Wiltshire, A., Payne, T., Huss, M., Betts, R., Caesar, J., Koutroulis, A., Jones, D., Harrison, S., 2019. Global glacier volume projections under high-end climate change scenarios. *Cryosphere* 13, 325–350. <https://doi.org/10.5194/tc-13-325-2019>
- Simoës, J.C., Zagorodnov, V.S., 2001. The record of anthropogenic pollution in snow and ice in Svalbard, Norway. *Atmospheric Environ.* 35, 403–413.
- Song, S., Chen, B., Huang, T., Ma, S., Liu, L., Luo, J., Shen, H., Wang, J., Guo, L., Wu, M., Mao, X., Zhao, Y., Gao, H., Ma, J., 2023. Assessing the contribution of global wildfire biomass burning to BaP contamination in the Arctic. *Environ. Sci. Ecotechnology* 14, 100232. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100232>
- Sonne, C., Dietz, R., Leifsson, P.S., Born, E.W., Letcher, R.J., Kirkegaard, M., Muir, D.C.G., Riget, F.F., Hyldstrup, L., 2005. Do Organohalogen Contaminants Contribute to Histopathology in Liver from East Greenland Polar Bears (*Ursus maritimus*)? *Environ. Health Perspect.* 113, 1569–1574. <https://doi.org/10.1289/ehp.8038>
- Spataro, F., Patrolecco, L., Ademollo, N., Præbel, K., Rauseo, J., Pescatore, T., Corsolini, S., 2021. Multiple exposure of the *Boreogadus saida* from Bessel fjord (NE Greenland) to legacy and emerging pollutants. *Chemosphere* 279. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130477>
- Spolaor, A., Scoto, F., Larose, C., Barbaro, E., Burgay, F., Bjorkman, M.P., Cappelletti, D., Dallo, F., De Blasi, F., Divine, D., Dreossi, G., Gabrieli, J., Isaksson, E., Kohler, J., Martma, T., Schmidt, L.S., Schuler, T. V., Stenni, B., Turetta, C., Luks, B., Casado, M., Gallet, J.C., 2024. Climate change is rapidly deteriorating the climatic signal in Svalbard glaciers. *Cryosphere* 18, 307–320. <https://doi.org/10.5194/TC-18-307-2024>
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 96, 2059–2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
- Steinnes, E., Friedland, A.J., 2006. Metal contamination of natural surface soils from long-range atmospheric transport: Existing and missing knowledge. *Environ. Rev.* 14, 169–186. <https://doi.org/10.1139/A06-002>
- Stewart, C., Damby, D.E., Horwell, C.J., Elias, T., Ilyinskaya, E., Tomašek, I., Longo, B.M., Schmidt, A., Carlsen, H.K., Mason, E., Baxter, P.J., Cronin, S., Witham, C., 2022. Volcanic air pollution and human health: recent advances and future directions. *Bull. Volcanol.* 84, 11. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01513-9>
- Stibal, M., Lawson, E.C., Lis, G.P., Mak, K.M., Wadham, J.L., Anesio, A.M., 2010. Organic matter content and quality in supraglacial debris across the ablation zone of the Greenland ice sheet. *Ann. Glaciol.* 51, 1–8. <https://doi.org/10.3189/172756411795931958>
- Stibal, M., Šabacká, M., Žárský, J., 2012a. Biological processes on glacier and ice sheet surfaces. *Nat. Geosci.* 5, 771–774. <https://doi.org/10.1038/ngeo1611>
- Stibal, M., Telling, J., Cook, J., Mak, K.M., Hodson, A.J., Anesio, A.M., 2012b. Environmental controls on microbial abundance and activity on the Greenland ice sheet: a multivariate analysis approach. *Microb. Ecol.* 63, 74–84. <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9935-3>
- Stibal, M., Tranter, M., Benning, L.G., Řehák, J., 2008. Microbial primary production on an Arctic glacier is insignificant in comparison with allochthonous organic carbon input. *Environ. Microbiol.* 10, 2172–8. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01620.x>
- Szumińska, D., Koziół, K., Chalov, S.R., Efimov, V.A., Frankowski, M., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., 2023. Reemission of inorganic pollution from permafrost? A freshwater hydrochemistry study in the lower Kolyma basin (North-East Siberia). *L. Degrad. Dev.* <https://doi.org/10.1002/ldr.4866>
- Takeuchi, N., 2002. Surface albedo and characteristics of cryoconite (biogenic surface dust) on an Alaska glacier, Gulkana Glacier in the Alaska Range. *Bull. Glaciol. Res.* 19, 63–70.
- Takeuchi, N., Fujisawa, Y., Kadota, T., Tanaka, S., Miyairi, M., Shirakawa, T., Kusaka, R., Fedorov, A.N., Konstantinov, P., Ohata, T., 2015. The Effect of Impurities on the Surface Melt of a Glacier in the Suntar-Khayata Mountain Range, Russian Siberia. *Front. Earth Sci.* 3. <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00082>

- Takeuchi, N., Tanaka, S., Konno, Y., Irvine-Fynn, T.D.L., Rassner, S.M.E., Edwards, A., 2019. Variations in phototroph communities on the ablating bare-ice surface of glaciers on brøggerhalvøya, svalbard. *Front. Earth Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00004>
- Tedstone, A., Machguth, H., Clerx, N., Jullien, N., Picton, H., Ducrey, J., van As, D., Colosio, P., Tedesco, M., Lhermitte, S., 2025. Concurrent superimposed ice formation and meltwater runoff on Greenland's ice slabs. *Nat. Commun.* 2025 161 16, 4494-. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59237-9>
- van Loon, G.W., Duffy, S.J., 2010. *Environmental Chemistry: A global perspective*. OUP Oxford.
- Vorkamp, K., Rigét, F.F., Bossi, R., Dietz, R., 2011. Temporal Trends of Hexabromocyclododecane, Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Ringed Seals from East Greenland. *Environ. Sci. Technol.* 45, 1243–1249. <https://doi.org/10.1021/ES102755X>
- Wadham, J.L., Nuttall, A.-M., 2002. Multiphase formation of superimposed ice during a mass-balance year at a maritime high-Arctic glacier. *J. Glaciol.* 48, 545–551.
- Waseda, T., Nose, T., Kodaira, T., Sasmal, K., Webb, A., 2021. Climatic trends of extreme wave events caused by Arctic Cyclones in the western Arctic Ocean. *Polar Sci.* 27, 100625. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100625>
- Wawrzyniak, T., Osuch, M., 2020. A 40-year High Arctic climatological dataset of the Polish Polar Station Hornsund (SW Spitsbergen, Svalbard). *Earth Syst. Sci. Data* 12, 805–815. <https://doi.org/10.5194/essd-12-805-2020>
- Weinbruch, S., Zou, L., Ebert, M., Benker, N., Drotikova, T., Kallenborn, R., 2022. Emission of nanoparticles from coal and diesel fired power plants on Svalbard: An electron microscopy study. *Atmos. Environ.* 282, 119138. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119138>
- Xu, B., Yao, T., Liu, X., Wang, N., 2006. Elemental and organic carbon measurements with a two-step heating–gas chromatography system in snow samples from the Tibetan Plateau. *Ann. Glaciol.* 43, 257–262. <https://doi.org/10.3189/172756406781812122>
- Yan, F., Kang, S., Chen, P., Bai, J., Li, Y., Hu, Z., Li, C., 2015. Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau. *Huanjing Kexue* 36, 2827–2832.
- Zdanowicz, C., Salvatori, R., Gallet, J.-C., Malnes, E., Isaksen, K., Hübner, C., Lihavainen, H., Bradley, J., Cooper, E., Deshpande, M., Di Mauro, B., Eckerstorfer, M., Elster, J., Engeset, R., Ferrighi, L., Fihol, S., Godøy, Ø., Hancock, H., Hunstad, I., Ignatiuk, D., Jacobi, H.-W., Jawak, S., Jennings, I., Koziół, K., Larose, C., Lefeuvre, P.-M., Li, L., Loonen, M., Luks, B., Meinander, O., Melvold, K., Mortarini, L., Nawrot, A., Nævdal, G., Pedersen, C., Pohjola, V., Saloranta, T., Salzano, R., Spolaor, A., Sund, M., Svensson, J., Van Pelt, W., Viola, A., Vitale, V., Xie, Z., Zhang, J., 2021. An agenda for the future of snow research in Svalbard - a multidomain approach. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6415927>
- Zhan, J., Gao, Y., Li, W., Chen, L., Lin, H., Lin, Q., 2014. Effects of ship emissions on summertime aerosols at Ny-Alesund in the Arctic. *Atmos. Pollut. Res.* 5, 500–510. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.059>
- Zwinger, T., Moore, J.C., 2009. Diagnostic and prognostic simulations with a full Stokes model accounting for superimposed ice of Midtre Lovénbreen, Svalbard. *Cryosphere* 3, 217–229. <https://doi.org/10.5194/TC-3-217-2009>

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

Pierwsze prace badawcze opublikowałam podczas studiów licencjackich z geografii, które podjęłam na Uniwersytecie Śląskim. W okresie studiów licencjackich i magisterskich opublikowałam łącznie 4 prace (w periodyku „Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko”, tj. czasopiśmie Studenckiego Koła Naukowego Geografów UŚ, którego byłam członkinią, a także czasowo sekretarzem): **Koziół, 2006; Koziół i Koptyńska, 2008; Koziół i Sobala, 2010; Spórna i in., 2011 (pełne zestawienie publikacji znajduje się w Załączniku nr 3)**. Już w tamtym okresie bliska mi była tematyka geochemii środowiska,

gdyż jedna z tych prac dotyczyła parametrów fizykochemicznych oraz składu jonowego wody w źródłach rzeki Sztoły (**Kozioł i Koptyńska, 2008**). Wówczas moje zainteresowania badawcze rozwinęły się również w kierunku badań polarnych: w pracy licencjackiej i magisterskiej zgłębiałam problematykę charakterystyki ilościowej i jakościowej (składu chemicznego) opadów atmosferycznych na południowym Svalbardzie, pod kierunkiem dr (niedługo później dr hab.) Wiesławy Ewy Krawczyk i dr hab. inż. Jacka Rózkowskiego, prof. UŚ. Ze względu na wykształcenie chemiczne i profil badawczy promotorki, poznałam dokładnie zasady hydrochemicznych pomiarów terenowych, w tym oznaczania stężeń jonów nieorganicznych metodą chromatografii jonowej (jak również, towarzysząco, metody miareczkowe). Przeszłam wówczas wielomiesięczne szkolenie praktyczne z zakresu zastosowania chromatografii jonowej w badaniach z zakresu chemii środowiska. Umiejętności wówczas zdobyte spożytkowałam, prowadząc badania do pracy magisterskiej w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund (wyposażonej w chromatograf jonowy, badania w latach 2008-2009) oraz prowadząc warsztaty z zakresu wykorzystania tej techniki wraz z firmą Metrohm i Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze.

Punktem zwrotnym w przebiegu mojej kariery naukowej była skuteczna rekrutacja na studia doktoranckie na prestiżowym Uniwersytecie w Sheffield w Wielkiej Brytanii, w programie łączonym z UNIS – Uniwersyteckim Centrum na Svalbardzie (w Norwegii). Miałam wówczas możliwość współpracy z wybitnym specjalistą z dziedziny biogeochemii środowisk kriosferycznych, prof. Andrew J. Hodsonem. Promotorami pomocniczymi mojego doktoratu byli: specjalista w zakresie problematyki zanieczyszczenia sadzą w środowiskach lodowcowych, prof. Carl Egede Bøggild (UNIS), oraz młodsza stażem specjalistka z zakresu tematyki środowisk rzecznych, dr Helen Moggridge (Uniwersytet w Sheffield). Wynikiem tej współpracy jest **artykuł H2** przedstawiony w ramach **głównego osiągnięcia** (dopracowany, przygotowany do publikacji i wydany już po zakończeniu studiów doktoranckich).

Ze względu na sprecyzowanie zainteresowań badawczych w kierunku silnie związanym z badaniami terenowymi w Arktyce, po zakończeniu studiów doktoranckich postanowiłam spędzić rok na tzw. zimowaniu, tj. jako załoga Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Svalbardzie, prowadzonej przez Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk. Zaaplikowałam o rolę obserwatora środowiskowego (zwanego później hydrochemikiem) na XXXVIII Wyprawie PAN 2015/16. Zaproponowano mi również dodatkowe stanowisko Zastępcy Kierownika ds. Naukowych. Podczas pobytu w Polskiej Stacji Polarnej, miałam okazję przeprowadzić badania terenowe i laboratoryjne do międzynarodowego projektu Community Coordinated Snow Survey in Svalbard (C2S3), którego jednym z efektów był **artykuł H5** przedstawiony w ramach **głównego osiągnięcia**, jak również reprezentować stację podczas oficjalnych wizyt do Polskiej Stacji Polarnej Hornsund (wizyt naukowców, a także ważnych osób ze świata polityki, gospodarki i sztuki). Wyprawa polarna PAN dała mi również możliwość pobrania próbek z systemu rzeczno-jeziornego Revelvy w sezonach letnich 2015 i 2016, będących podstawą publikacji **Kosek i in. (2018, 2019a i b – H8, H9 i H10)**, afiliowanych w Instytucie Geofizyki PAN ze względu na to powiązanie z wyprawą – przedstawionych szerzej w **punkcie 5.1 (drugie osiągnięcie)**. W latach 2013-2016, a zatem włącznie z okresem spędzonym w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund, realizowałam również grant PRELUDIUM na Politechnice Gdańskiej, związany z wytapianiem się związków organicznych z kriosfery (pokrywy śnieżnej lodowca). Rezultatem tego projektu, obok wystąpień i publikacji konferencyjnych, był **artykuł H1**, zreferowany w ramach **głównego osiągnięcia**.

W 2017 roku podjęłam pracę na stanowisku badawczo-dydaktycznym w Instytucie Geografii Uniwersytetu Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, gdzie miałam okazję po raz pierwszy prowadzić zajęcia dydaktyczne w pełnym wymiarze pensum, realizując jednocześnie projekt naukowo-eksploracyjny **National Geographic Society**

pt. *The current deposition of persistent organic pollutants (POPs) across the Greenland ice sheet* (kierownik projektu nr GEFNE 174_16). Z okresu pracy na UP Kraków (obecnie UKEN) datuje się przygotowanie artykułu we współpracy z ówczesnymi pracownikami UP Kraków, dr (obecnie dr hab., prof. US) Danielem Okupnym i dr inż. Joanną Korzeniowską, a także emerytowanymi pracownikami Politechniki Świętokrzyskiej i Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, prof. dr hab. Elżbietą Bezak-Mazur i prof. dr hab. Stanisławem Żurkiem, nt. geochemii torfowisk na Wyspach Sołowieckich. W artykule tym przeanalizowano przestrzenną zmienność zawartości metali ciężkich w torfie, zależnie od mikroform ukształtowania powierzchni torfowiska (**Kozioł, Korzeniowska i in., 2020 – H29**). Okres pracy w tej jednostce przyczynił się również do późniejszej współpracy z dr hab. Wandą Wilczyńską-Michalik, prof. UKEN, oraz prof. dr hab. Markiem Michalikiem z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Rezultatem tejże współpracy był artykuł o charakterystyce jakościowej aerozoli w powietrzu okolic Polskiej Stacji Polarnej Hornsund (**Pawlak i in. 2024 – H30**).

W trakcie roku pracy na Uniwersytecie Pedagogicznym w Krakowie, otrzymałam finansowanie dla złożonego wcześniej projektu NCN SONATA pt. *Sea-snow POPs: wtórny obieg trwałych zanieczyszczeń organicznych w Arktyce* (kierownik projektu nr 2017/26/D/ST10/00630), zaplanowanego do umocowania na Politechnice Gdańskiej. Po zakończeniu roku akademickiego zmieniłam zatem miejsce pracy, aby móc skutecznie realizować zaplanowane badania dotyczące wtórnych źródeł trwałych zanieczyszczeń organicznych (pestycydów chlorowcoorganicznych i polichlorowanych bifenyli) w pokrywie śnieżnej Arktyki. Dzięki zmianie uczelni mogłam bliżej współpracować z reprezentantami dyscypliny nauki chemicznej, aby zdobyć dodatkowe kompetencje analityczne, jak również – przede wszystkim – zgłębić potencjał interpretacyjny danych o związkach organicznych w środowisku Arktyki w zakresie badań geograficznych. Moja praca na Politechnice Gdańskiej, w Katedrze Chemii Analitycznej Wydziału Chemicznego, miała charakter wyłącznie badawczy, a jej efektem były prace pisane w zespole z Filipem Pawlakiem (obecnie dr inż.), stypendystą w projekcie SONATA pod moim kierownictwem. Promotorem dr inż. Pawlaka była prof. dr hab. inż. Żaneta Polkowska, a ja – choć nieoficjalnie – pełniłam funkcję zbliżoną do promotora pomocniczego, czego efektem są liczne wspólne artykuły (**artykuły H3, H4, H6 i H7 – zreferowane w ramach głównego osiągnięcia**, a także prace: **Pawlak i in. 2019 – H13, Kozioł, Ruman i in. 2020 – H14, Spolaor i in. 2021 – H19, Pawlak i in. 2024 – H30**). W okresie tym kontynuowałam współpracę z zespołem C2S3, wzmocnioną wspólnym projektem SIOS Access Call 2018_0009 z dr. Andream Spolaor (oraz członkami jego zespołu, dr Alice Callegaro i dr. Niccolo Maffezzoli), oraz nawiązałam współpracę z prof. Rolandem Kallenbornem z UNIS i NMBU (Norweski Uniwersytet Nauk o Życiu). Współpraca ta zaowocowała udziałem w projekcie prof. Kallenborna Svalbard Strategic Grant **HERMOSA**: organizacją dwóch warsztatów w latach 2021 i 2022 oraz publikacją raportu **SESS Report** dla SIOS, a później także wspólną publikacją w ramach AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme): **Muir i in. 2025 (H16)**. Moje wykształcenie i geograficzne zainteresowania sprawiły, że po zakończeniu realizacji projektu badawczego na Politechnice Gdańskiej, poszukiwałam zatrudnienia w jednostce naukowej o profilu geograficznym. Do otoczenia osób z mojej dyscypliny naukowej wróciłam za sprawą zatrudnienia na stanowisku adiunkta w Instytucie Geografii Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, który niedługo później stał się Wydziałem Nauk Geograficznych, po osiągnięciu kategorii ewaluacyjnej B+ dla dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku. Od tego czasu (2021 rok) realizuję badania naukowe, działalność dydaktyczną i organizacyjną na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego. Rozwijam w szczególności wątek badań polarnych, w aspektach zanieczyszczenia środowiska i geochemii środowisk kriosferycznych, uczestnicząc w projektach badawczych *PER2Water* (OPUS, kierownik dr hab. Danuta Szumińska, prof., UKW), oraz *Badanie modyfikacji chemizmu i parametrów*

limnologicznych wód pod wpływem zróżnicowanego zasilania przez degradację kriosfery oraz analiza migracji zanieczyszczeń w peryglacjalnym środowisku zlewni niezlodowaconych na Lions Rump, Antarktyka (Sonatina, kierownik dr inż. Joanna Potapowicz, Uniwersytet Gdański). Przewodniczyłam również zespołowi na UKW w polsko-norweskim projekcie predefiniowanym *HarSval* (kierownik dr Dariusz Ignatiuk z Uniwersytetu Śląskiego, finansowanie z Funduszy Norweskich i EOG).

W tym okresie zdobyłam również dodatkowe doświadczenia badawcze za granicą. Odbyłam 4,5-miesięczny staż naukowy na prestiżowym University of California Berkeley w Stanach Zjednoczonych, gdzie realizowałam projekt ufundowany w ramach stypendium Fundacji Kościuszkowskiej, pod opieką uznanego badacza procesów chemicznych w atmosferze (i ich związków z wpływem działalności człowieka), prof. Ronalda Cohena. Dzięki realizacji projektu pt. *Spatial patterns in aerosol deposition in the city of Glasgow*, miałam możliwość rozszerzyć warsztat badawczy z zakresu analiz przestrzennych i statystycznych związanych z występowaniem substancji chemicznych w środowisku. W ramach międzynarodowego polsko-norweskiego projektu *HarSval Bilateral initiative aiming at Harmonisation of the Svalbard cooperation*, odbyłam również 4-tygodniowy staż na Norwegian University of Life Sciences (NMBU) w Ås k. Oslo, pod opieką znanego badacza problematyki zanieczyszczeń środowiska w Arktyce, prof. Rolanda Kallenborna. Jednym z efektów tego stażu było ściślejsze zaangażowanie w prace zespołu eksperckiego AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), w zakresie opracowań związanych ze źródłami i trendami czasowymi w stężeniach zanieczyszczeń z grupy trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w Arktyce (jedynym dotychczas opublikowanym wynikiem współpracy w ramach AMAP jest artykuł **Muir i in. 2025 (H16)**, kolejne prace znajdują się na różnych etapach przygotowań).

Od początku kariery naukowej rozwijałam (i nadal rozwijam) współpracę z różnymi zespołami badawczymi zarówno z Polski, jak i z zagranicy. Sprzyja temu także realizacja badań terenowych w placówkach badawczych takich jak Polska Stacja Polarna im. Stanisława Siedleckiego w Hornsundzie (gdzie byłam zatrudniona jako Zastępca Kierownika Wyprawy ds. Naukowych w latach 2015-16, a także realizowałam badania terenowe w latach 2008, 2009, a także 2019, 2021 i 2024). Dzięki pracy badawczej odwiedziłam także stacje polarne: North-East Science Station (Czerski, Syberia, Rosja – 2021), Kevo Research Station (Utsjoki, Finlandia – 2022), Toolik Field Station na Alasce (nad Jez. Toolik, USA – 2023) i Polska Stacja Antarktyczna im. Henryka Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego (Antarktyka – 2024). Realizuję zatem postulat mobilności naukowej i uniwersalności prowadzonych przeze mnie badań w zakresie różnych kryteriów: pracy w różnych jednostkach badawczych, mobilności międzynarodowej, czy też współpracy w międzynarodowym gronie badaczy, włącznie z rezultatami w postaci publikacji naukowych (w tym szeroko cytowanych, jak **Muir i in. 2025 (H16)** – na dzień 17.08.2026 publikacja ta liczyła 51 cytowań wg bazy Web of Science oraz 72 cytowania wg Google Scholar).

5.1. Najważniejsze osiągnięcie zrealizowane na innej uczelni niż osiągnięcie zaprezentowane w punkcie 4

Osiągnięcia publikacyjne powstałe w innych jednostkach naukowych, niż osiągnięcie główne (składające się z prac afiliowanych na Uniwersytecie w Sheffield, Politechnice Gdańskiej oraz Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy) to przede wszystkim prace afiliowane na Uniwersytecie Pedagogicznym im. KEN w Krakowie i/lub w Polskiej Stacji Polarnej im. Stanisława Siedleckiego w Hornsundzie, tj. Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk:

H8. Kosek, K., Kozak, K., Koziol, K., Jankowska, K., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2018.** The interaction between bacterial abundance and selected pollutants concentration levels in an arctic catchment (southwest Spitsbergen, Svalbard), *Sci. Total Environ.* 622, 913-923, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.342.

H9. Kosek, K., Luczkiewicz, A., Koziol, K., Jankowska, K., Ruman, M., Polkowska, Ż., **2019.** Environmental characteristics of a tundra river system in Svalbard. Part 1: Bacterial abundance, community structure and nutrient levels, *Sci. Total Environ.* 653, 1571-1584, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.378.

H10. Kosek, K., Koziol, K., Luczkiewicz, A., Jankowska, K., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2019.** Environmental characteristics of a tundra river system in Svalbard. Part 2: Chemical stress factors, *Sci. Total Environ.* 653, 1585-1596, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.012.

A zatem jako moje **drugie osiągnięcie**, w całości związane z pracą naukową w innej jednostce naukowej niż ta, gdzie powstało **główne osiągnięcie**, prezentuję **cykl trzech artykułów zgłębiających powiązania między zmiennością stężeń substancji chemicznych a parametrami mikrobiologicznymi w wodach powierzchniowych systemu rzeczno-jeziornego Revelvy na Spitsbergenie (archipelag Svalbard), w aspekcie przestrzennym i czasowym, z użyciem wielowymiarowych metod statystycznych**. Prace te stanowią cykl tematyczny powiązany zarówno poprzez obiekt badań, jak i pogłębioną analizę interakcji między chemicznymi i mikrobiologicznymi elementami tego środowiska wodnego, a także zastosowane do odkrywania tych zależności metody statystyczne, w szczególności analizę składowych głównych. Stanowi ono istotny wkład w dyscyplinę ze względu na wykazanie możliwych zależności między topnieniem kriosfery w zlewni Revelvy (pokrywy śnieżnej, lodowców, tajaniem wieloletniej zmarzliny), a występowaniem podwyższonych stężeń wybranych substancji chemicznych, w tym zanieczyszczeń z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), szczególnie niebezpiecznych m.in. ze względu na kancerogenne właściwości związków z tej grupy. Moja rola w opisanych badaniach związana była głównie z interpretacjami zależności w środowisku przyrodniczym, związanych z topnieniem kriosfery, oraz zastosowaniem wielowymiarowych metod statystycznych do tego celu. Prace te mają charakter interdyscyplinarny, z istotnym udziałem mikrobiologów w interpretacji zależności między składem chemicznym wód (w zakresie substancji odżywczych w pracy **H9**, metali i metaloidów oraz związków organicznych o charakterze zanieczyszczeń w tym środowisku (WWA) – w pracy **H8** oraz **H10**. We wszystkich trzech pracach (**H8, H9, H10**) przeanalizowano czynniki wpływające na skład chemiczny wód systemu rzeczno-jeziornego Revelvy na południowym Spitsbergenie w czternastu lokalizacjach wzdłuż cieku głównego i na jego dopływach, w dwóch momentach czasowych: w początkowym i końcowym okresie aktywnego sezonu hydrologicznego. Warto podkreślić, że system rzeczno-jeziorny Revelvy stanowi rodzaj modelowej zróżnicowanej zlewni arktycznej, położonej w dolinie głównej niezlodowaconej, z możliwym wpływem lodowców i resztek lodowców w dolinach bocznych, z istotną rolą topnienia pokrywy śnieżnej w reżimie zasilania. Co więcej, pod względem podstawowych parametrów fizykochemicznych wody system jezior w tej zlewni przypomina liczne inne jeziora arktyczne (**por. H15 poniżej**).

W składzie chemicznym wód Revelvy wyróżniało się m.in. wysokie stężenie zanieczyszczeń z grupy WWA, szczególnie naftalenu, w okresie topnienia pokrywy śnieżnej (czerwiec-lipiec), zwłaszcza w lokalizacji stanowiącej ujście cieku lodowcowego Ariebecken (**H8, H10**). Co ciekawe, w strukturze mikrobiocenozy wyróżniono liczne szczepy bakterii zdolne do degradacji związków chemicznych z grupy WWA, a wyższe stężenia tych związków nie ograniczały liczebności bakterii w badanych lokalizacjach (**H10**). W przeciwieństwie do WWA, metale i metaloidy we większości osiągały wyższe stężenia we wrześniowym terminie pobierania próbek (**H8**), co mogło wynikać z dostawy z opadem

atmosferycznym lub też interakcji z podłożem (w tym z tajaniem permafrostu). Dotyczyło to szerokiej grupy pierwiastków w próbkach pobranych latem 2015 (**H8**): Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Mn, Ni, Rb, Sr, Tl, U, V i Zn, a prawidłowość ta powtórzyła się dla większości z nich również w próbkach pobranych latem 2016 (z wyjątkiem Co, Cr, Cu i Zn; **H10**). **Publikacje te rozwijają istotny wątek wpływu czynników środowiskowych (atmosferycznych, geologicznych i hydrologicznych, w tym kriosferycznych) na skład chemiczny wód w arktycznym systemie rzeczno-jeziornym.** Wskazują na istotne interakcje między mikrobiocenozą a składem chemicznym wód, a także charakterystyką zlewni, które mogą wpływać na skład chemiczny wód w aspekcie przestrzennym i czasowym.

Dodatkowe publikacje powiązane tematycznie z drugim osiągnięciem (kolejność chronologiczna):

H11. Kozak, K., Koziol, K., Luks, B., Chmiel, S., Ruman, M., Marć, M., Namieśnik, J., Polkowska, Ż. **2015.** The role of atmospheric precipitation in introducing contaminants to the surface waters of the Fuglebekken catchment, Spitsbergen, *Polar Research*, 34, 24207, doi: 10.3402/polar.v34.24207.

H12. Kozak, K., Polkowska, Ż., Stachnik, Ł., Luks, B., Chmiel, S., Ruman, M., Lech, D., Koziol, K., Tsakovski, S., Simeonov, V., **2016.** Arctic catchment as a sensitive indicator of the environmental changes: distribution and migration of metals (Svalbard), *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 2779–2796, doi: 10.1007/s13762-016-1137-6.

H13. Pawlak, F., Koziol, K., Ruman, M., Polkowska, Ż., **2019.** Persistent organic pollutants (POPs) as an indicator of surface water quality in the vicinity of the Polish Polar Station, Hornsund, *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly* 150 (9), 1573-1578, doi: 10.1007/s00706-019-02475-7.

H14. Koziol, K., Ruman, M., Pawlak, F., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2020.** Spatial Differences in the Chemical Composition of Surface Water in the Hornsund Fjord Area: A Statistical Analysis with A Focus on Local Pollution Sources, *Water* 12 (2), 496, doi: 10.3390/w12020496.

H15. Ruman M., Kosek K., Koziol, K., Cieply, M., Kozak-Dylewska, K., Polkowska, Ż., **2021.** A High-Arctic flow-through lake system hydrochemical changes: Revvatnet, southwestern Svalbard (years 2010–2018), *Chemosphere*, 275, 130046, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130046.

Powyżej opisany wątek tematyczny został podjęty również w innych pracach, we większości afiliowanych w tych samych jednostkach co **główne osiągnięcie**. W **artykule H12** przedstawiono zróżnicowanie stężeń metali i metaloidów w zlewni Revelvy, uwzględniając specjację metali i wskaźniki stopnia zanieczyszczenia wód (z moim udziałem w analizie danych). **Artykuł H15** natomiast stanowi syntezę danych o systemie dwóch jezior w zlewni Revelvy, zebranych w okresie 2010-2018, oraz dokładniejszą charakterystykę hydrologiczno-hydrochemiczną badanego systemu jezior (włącznie z batymetrią Jez. Revvatnet). Zauważono m.in., że stężenia cynku są najwyższe w górnej części zlewni, co jest zbieżne z występującymi w podłożu geologicznym górnej części zlewni minerałami rudnymi. Zmienność międzyroczna stężeń zarówno metali i metaloidów, jak i związków z grupy WWA, była znaczna, z wysokimi maksimami lokalnymi szczególnie dla naftalenu, fluorantenu i antracenu, co jest zbieżne z profilem WWA we wcześniej badanych sezonach letnich 2015 i 2016 (**artykuły H8, H9, H10**). Stosunki wskaźnikowe WWA wskazywały na

pirogeniczny (związany z procesami spalania) charakter WWA, a zatem najprawdopodobniej nie pochodziły one ze źródeł skalnych (ani niespalonego paliwa).

Badania te poszerza również praca **H11**, która określa poziom dostawy metali i metaloidów oraz węgla organicznego na tym obszarze, a także ich czasowe zróżnicowanie. Pomimo usytuowania punktu pobierania próbek opadu deszczu w sąsiedniej zlewni Fuglebekken, ze względu na niewielką odległość, można uznać te dane za reprezentatywne dla zlewni Revelvy. Praca ze zlewni Fuglebekken stanowi najbliższą dostępną informację tego rodzaju, gdyż podobne badania na Svalbardzie prowadzi się jedynie ok. 200 km na północ od tej lokalizacji, na stacji Zeppelin w Ny Ålesund. Wkład pracy **H11** w dyscyplinę jest istotny również ze względu na jedyne do tej pory kompleksowe opracowanie sytuacji atmosferycznych, w których występuje zwiększona dostawa metali i metaloidów do zlewni południowo-zachodniego Spitsbergenu, a także powiązanie konkretnych składników opadu z czynnikami lokalnymi lub dalekiego zasięgu za pomocą wielowymiarowej analizy statystycznej (analizy dyskryminacyjnej). Warto podkreślić, że wyniki tej pracy są często wykorzystywane przez innych badaczy, o czym świadczy liczba cytowań (42 wg bazy Web of Science, 54 wg Google Scholar – na dzień 17.08.2026 r.). Również w pracy **H12** uwzględniono element opadowy w postaci pozostałości metali i metaloidów w płatach pokrywy śnieżnej pozostałych na początku sezonu letniego.

Powiązana tematycznie jest również praca **H13**, która przedstawia inny aspekt zróżnicowania jakości wody – związany ze stężeniami związków klasyfikowanych jako trwale zanieczyszczenia organiczne lub substancje do nich zbliżone (PCB i WWA). Rozważania obejmują związek z obecnością stacji polarnej na tym terenie, także pod względem możliwości wykorzystania badanych wód do celów pitnych w stacji. W pracy dyskutowano, podobnie jak w publikacjach **H8** oraz **H10**, dominację naftalenu wśród WWA w wodach powierzchniowych w otoczeniu Polskiej Stacji Polarnej Hornsund (a wśród PCB – dominację PCB-153). Analiza klastrowa wykazała, że skład chemiczny wody strumieni i niewielkich jezior na badanym terenie był zbliżony, a główny czynnik zróżnicowania to raczej lokalizacja poszczególnych obiektów hydrograficznych. Wątek lokalnego zasięgu wpływu stacji opracowano dokładniej (statystycznie) w pracy **H14**. Użyto w niej wielowymiarowej analizy statystycznej – analizy składowych głównych (PCA), uwzględniając odległość od wybrzeża morskiego i od stacji polarnej jako wskaźniki lokalnego rozprzestrzeniania substancji chemicznych z grupy metali i metaloidów i związków organicznych (w tym WWA, PCB, surfaktantów, fenoli i formaldehydu), a także dla zbiorczego parametru OWO. Praca ta wskazuje na istotną rolę źródeł lokalnych (w tym geogenicznych) w zróżnicowaniu stężeń metali i metaloidów, podczas gdy większość związków organicznych (z wyjątkiem naftalenu) nie wykazywała bezpośredniego związku przestrzennego ze źródłem w stacji polarnej.

Mój indywidualny wkład w powyższe prace (choć w większości przypadków nie miał charakteru pierwszego autorstwa, zarezerwowanego dla osoby przeprowadzającej skomplikowane analizy chemiczne do danej pracy) obejmował podobne elementy tematyczne i narzędzia zastosowane do badań przedstawionych w **głównym osiągnięciu. Mojego autorstwa są analizy statystyczne w przedstawionych pracach (z wyjątkiem H12 oraz H13), jak również interpretacja czynników geologicznych, atmosferycznych i antropogenicznych w badanych zlewniach.** Pojawiający się w pracach **H8, H9 i H10**, a marginalnie także w pracy **H12** **wątek kriosferyczny** (związany z topnieniem pokrywy śnieżnej, lodowców lub wieloletniej zmarzliny) jest w szczególności związany z moją specjalizacją i stanowi element interpretacji uzyskanych wyników opracowany przeze mnie. A zatem część geograficzna opisywanych badań jest w znacznym stopniu mojego autorstwa. **Wkład powyższych prac w dyscyplinę nauk o Ziemi i środowisku obejmuje kompleksowe zbadanie, przy użyciu narzędzi statystycznych i z uwzględnieniem**

czynników środowiskowych, zróżnicowania przestrzennego stężeń pierwiastków i związków chemicznych w systemie rzeczno-jeziornym na południowym Spitsbergenie. System ten pod względem podstawowych parametrów fizykochemicznych wody można uznać za reprezentatywny dla wielu lokalizacji w Arktyce. Wkład w dyscyplinę stanowi również dostarczenie nowej wiedzy nt. wpływu czynników atmosferycznych, geogenicznych, kriosferycznych i lokalnych antropogenicznych na to zróżnicowanie.

5.2. Staże zagraniczne

W ramach działalności badawczej, odbyłam dwa prestiżowe staże zagraniczne w jednostkach naukowych w USA i w Norwegii.

5.2.1. Staż THE Kościuszko Foundation na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (opiekun stażu: prof. Ronald Cohen)

W okresie 09.2023-01.2024 odbyłam 4,5-miesięczny staż w ramach stypendium The Kościuszko Foundation (Fundacji Kościuszkowskiej), realizując projekt *Spatial patterns in aerosol deposition in the city of Glasgow*. Projekt ten wpisywał się w zakres szerszego, międzynarodowego projektu BEACO₂N, realizowanego przez grupę badawczą prof. Ronalda Cohena. Tematyka projektu obejmowała zmienność przestrzenną wskaźników zanieczyszczenia gazowego i pyłowego w przestrzeni miejskiej wybranych miast USA oraz Wielkiej Brytanii. Mój udział pozwolił mi znacznie poszerzyć warsztat metod statystycznych, w tym narzędzi IT (Python, R) stosowanych w tego rodzaju badaniach, a także zapoznać się z zakresem i wynikami badań prowadzonych przez grupę badawczą prof. Cohena, a związanych z analizą satelitarnych i naziemnych pomiarów wskaźników zanieczyszczenia powietrza miejskiego i emisji gazów cieplarnianych.

5.2.2. Staż w ramach projektu HarSval na Norweskim Uniwersytecie Nauk o Życiu (NMBU) w Ås k. Oslo (opiekun stażu: prof. Roland Kallenborn)

Pod koniec roku 2024, odbyłam 4-tygodniowy staż na Norweskim Uniwersytecie Nauk o Życiu (NMBU), pod opieką prof. Rolanda Kallenborna, światowej klasy eksperta w zakresie problematyki trwałych, bioakumulujących i toksycznych zanieczyszczeń organicznych w środowisku Arktyki, który jest także członkiem grupy ekspertów AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) przy Radzie Arktycznej (Arctic Council) skupionej na tym zagadnieniu. Celem stażu naukowego było poszerzenie rozpoczętej wcześniej współpracy w zakresie badań zanieczyszczeń organicznych w środowisku Arktyki, przede wszystkim w odniesieniu do powietrza atmosferycznego, ale także innych elementów środowiska abiotycznego na Svalbardzie. Pobyt naukowy miał na celu także rozwój mojej współpracy z grupą ekspertów AMAP, realizującej opracowanie pt. „Local emissions versus long-range transport of POPs in the Arctic” (cykl artykułów przeglądowych, z których jeden mojego współautorstwa już ukazał się w druku), a także udział w spotkaniu inicjującym kolejne opracowanie, dotyczące trendów czasowych zanieczyszczeń organicznych w środowisku biotycznym i abiotycznym Arktyki. Oba opracowania: zakończone i rozpoczęte, są istotne dla rozpoznania przyszłych kierunków badań w zakresie zanieczyszczenia środowiska Arktyki substancjami organicznymi i działań w celu ochrony ekosystemów i społeczeństw tego regionu przed skutkami ekspozycji na zanieczyszczenia. Przedmiotem stażu były również prace laboratoryjne, dotyczące stężeń nitro- i oksypochodnych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w powietrzu atmosferycznym pobranym w Longyearbyen w związku z lokalnymi źródłami emisji.

Pozwoliły one poszerzyć mój warsztat badawczy (eksperymentalny) w zakresie analiz chemicznych próbek środowiskowych o niskich stężeniach zanieczyszczeń, a także zaowocowały współautorstwem posteru konferencyjnego.

Publikacje:

H16. Muir D., Gunnarsdóttir, M.J., **Koziol, K.**, von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., 2025. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environmental Science: Advances*, 4, 355-408, <https://doi.org/10.1039/D4VA00240G>

5.3. Współpraca międzynarodowa w ramach innych działań

Międzynarodową współpracę badawczą prowadziłam również w ramach projektów naukowych, z których niektóre zostały już wspomniane. Jednym z pierwszych przejawów takiej współpracy po zakończeniu doktoratu był **projekt badawczy *Community Coordinated Snow Survey in Svalbard***, do którego zostałam włączona jako uczestniczka badań terenowych i laboratoryjnych podczas mojego zimowania w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund (2015/16). Projekt ten zrzeszał naukowców z jednostek w Norwegii, Szwecji, Francji, Włoszech, Wielkiej Brytanii, Estonii, Republice Czeskiej i w Polsce, prowadzących badania śnieżne na Svalbardzie w zakresie właściwości fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych pokrywy śnieżnej. Wśród celów tego projektu można wymienić opracowanie wspólnych protokołów do interdyscyplinarnych badań terenowych pokrywy śnieżnej, oraz kompleksowe, jednoczasowe, przekrojowe badanie pokrywy śnieżnej na lodowcach całego archipelagu Svalbard. W ramach tego projektu, zostałam współautorką łącznie trzech publikacji naukowych, z których jedną (**artykuł H5**) przedstawiam w ramach **osiągnięcia**, gdyż stanowi element powiązanego tematycznie cyklu prac i mój wkład w tę pracę był znaczący. Pozostałe dwie prace pochodzące z tego projektu to:

Publikacje:

H17. Keuschnig, C., Vogel, T.M., Barbaro, E., Spolaor, A., **Koziol, K.**, Björkman, M.P., Zdanowicz, C., Gallet, J.-C., Luks, B., Layton, R., Larose, C., **2023.** Selection processes of Arctic seasonal glacier snowpack bacterial communities. *Microbiome* 11, 35, <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01473-6>

H18. Zdanowicz, C., Gallet, J.-C., Björkman, M. P., Larose, C., Schuler T., Luks B., **Koziol K.**, Spolaor A., Barbaro E., Martma T., van Pelt, W., Wideqvist U., Ström J. **2021.** Elemental and water-insoluble organic carbon in Svalbard snow: a synthesis of observations during 2007–2018, *Atmos. Chem. Phys.* 21, 3035–3057, doi: 10.5194/acp-21-3035-2021.

W ramach kontynuacji nawiązanej w 2016 roku współpracy, uczestniczyłam również w przygotowaniu publikacji dotyczącej depozycji metali i metaloidów w oparciu o dane z rdzenia firnu pobranego na Lodowcu Hansa na Spitsbergenie:

Publikacje:

H19. Spolaor A., Moroni B., Luks B., Nawrot A., Roman M., Larose C., Stachnik Ł., Bruschi F., **Koziol K.**, Pawlak F., Turetta C., Barbaro E., Gallet, J.-C., Cappelletti, D. **2021.** Investigation on the Sources and Impact of Trace Elements in the Annual Snowpack and the Firn in the Hansbreen (Southwest Spitsbergen), *Front. Earth. Sci.* 8, doi: 10.3389/feart.2020.536036.

W latach 2016-2018, byłam również kierownikiem międzynarodowego zespołu realizującego **projekt naukowo-eksploracyjny Towarzystwa National Geographic *The current deposition of persistent organic pollutants (POPs) across the Greenland ice sheet.*** Międzynarodowy zespół projektowy reprezentowały kobiety ze świata nauki i turystyki ekstremalnej, z Polski (Justyna Dudek, Aggna Bielecka), Austrii (Lindsey Nicholson) oraz Danii/Grenlandii (Ann Eileen Lennert). Projekt stał się bazą do dalszych powiązań naukowych, np. z Williamem Colganem z GEUS w Danii.

Międzynarodowe grono realizowało również **projekt HERMOSA (*Harmonising Environmental Research and Monitoring of Ongoing priority pollutants in the Svalbard Atmosphere*)**, sfinansowany przez Svalbard Strategic Grant (kierownik prof. Roland Kallenborn). Projekt składał się z realizacji dwóch warsztatów naukowych (online i terenowego na Svalbardzie) dotyczących zanieczyszczeń atmosferycznych, ich pomiarów i monitoringu, w aspekcie interdyscyplinarnym. Grupa realizująca projekt przygotowała również raport o stanie środowiska na Svalbardzie (SESS Report) pod patronatem SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System).

Publikacje:

H20. Koziol, K., Kallenborn, R., Xie, Z., Larose, C., Spolaor, A., Barbaro, E., Kavan, J., Kępski, D., Nikulina, A., Zawierucha, K., Pearce, D., Cockerton, L., Nawrot, A., Pawlak, F., Pakszys, P., & Cappelletti, D. (2023). Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants and Impurities in the Svalbard Atmosphere (HERMOSA). W SESS report 2022 - The State of Environmental Science in Svalbard - an annual report (s. 78–115). Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7406842>.

W roku 2024, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy dołączył (za sprawą moich starań) do Polskiego Konsorcjum Polarne, co umożliwiło mi realizację zaproszenia do bilateralnego polsko-norweskiego projektu *HarSval Bilateral initiative aiming at Harmonisation of the Svalbard cooperation* (kierownik dr Dariusz Ignatiuk). Komponent badawczy – badania pilotażowe w ramach zadania *WetSnowEx* (kierownik zadania: dr Bartłomiej Luks) – wiązał się z międzynarodową współpracą w gronie 14 osób z jednostek badawczych w Polsce i Norwegii w zakresie rozwiązywania aktualnych problemów w interdyscyplinarnych badaniach pokrywy śnieżnej na Svalbardzie. Ponadto, projekt ten był również okazją do poszerzenia warsztatu badawczego poprzez szkolenia (np. w zakresie wdrażania zasad udostępniania danych zgodnie z regułami *FAIR data*) czy warsztaty (Szkoła Hydrologii Polarnej) oraz mobilność naukową (staż, p. 5.2.2).

Publikacje:

H16. Muir D., Gunnarsdóttir, M.J., **Koziol, K.,** von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., 2025. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environmental Science: Advances*, 4, 355-408, <https://doi.org/10.1039/D4VA00240G>

H21. Sułowicz, S., Zawierucha, K., Markowicz, A., **Koziol, K.,** Zientak, W., Nawrot, A., Tomaszewski, K., Keuschnig, C., Luks, B., Larose, C., 2026. Vertebrate impact on bacterial community structure of coastal Arctic spring snowpacks. *Biogeosciences* 23, 3023–3038. <https://doi.org/10.5194/BG-23-3023-2026>

W roku 2021, przed wydarzeniami geopolitycznymi, które uniemożliwiły kontynuację tej współpracy, nawiązano również współpracę w zakresie badań terenowych z North-East Science Station w miejscowości Czerny na Syberii (Nikita Zimov) i Uniwersytetem

Łomonosowa w Moskwie (Sergey Chalov) w ramach projektu INTERACT PollAct (kierownik: Danuta Szumińska):

Publikacje:

H22. Szumińska, D., **Kozioł, K.**, Chalov, S.R., Efimov, V.A., Frankowski, M., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., 2023. Reemission of inorganic pollution from permafrost? A freshwater hydrochemistry study in the lower Kolyma basin (North-East Siberia). L. Degrad. Dev., 34 (17), 5591-5605, doi: 10.1002/ldr.4866.

5.4. Współpraca z polskimi jednostkami naukowymi, rozszerzona o współpracę z wybranymi naukowcami z zagranicy

5.4.1. Współpraca z naukowcami z Uniwersytetu Śląskiego i Politechniki Gdańskiej, wzbożona o współpracę z Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, a także z partnerami zagranicznymi z Uniwersytetu Arystotelesa w Salonikach (Grecja), Uniwersytetu w Sofii (im. św. Klimenta Ohridskiego) (Bułgaria) oraz Stanowego Uniwersytetu Mississippi

Rozpoczęta w trakcie projektu POLARCAT IPY, długoterminowa współpraca z Uniwersytetem Śląskim (dr hab. Marek Ruman, prof. uczelni) i Politechniką Gdańską (grupą badawczą prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej z Katedry Chemii Analitycznej Wydziału Chemicznego) zaowocowała licznymi publikacjami dotyczącymi zanieczyszczeń w środowisku przyrodniczym Arktyki (szczególnie w wodach powierzchniowych). Rozwój tej współpracy obejmował włączanie w następujące projekty i grupy badawcze:

I. Zespół badający system rzeczno-jeziorny rzeki Revelvy, składający się z dra hab. Marka Rumana, prof. uczelni, i prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej, jej ówczesnych doktorantek, dr inż. Katarzyny Kozak i dr inż. Klaudii Kosek, naukowców z Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Jacka Namieśnika i dr inż. (obecnie dr hab., prof. PG) Mariusza Marcia, rozszerzony o statystyków z Uniwersytetu w Sofii, prof. Stefana Tsakovskiego i prof. Vasila Simeonova, specjalistę w zakresie analiz stężeń pierwiastkowych techniką indukcyjnie sprzężonej plazmy ze spektrometrią mas (ICP-MS) dra hab. Stanisława Chmiela, prof. uczelni, specjalistę w zakresie nauk geologicznych, mgr inż. Dariusza Lecha, specjalistę w zakresie obliczeń specjacji środowiskowej pierwiastków w zakresie interakcji wód z podłożem mineralnym dra Łukasza Stachnika, specjalistów w zakresie badań środowiskowych w zlewniach Arktyki dra Bartłomieja Luksa z Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk i dra Michała Ciepłego z Uniwersytetu Śląskiego, a także zespół mikrobiologów z Politechniki Gdańskiej, Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska, obejmujący dr hab. Katarzynę Jankowską, prof. uczelni i prof. dr hab. Anetę Łuczkiewicz. **Efekty tej pracy oraz publikacje z nią związane opisano w punkcie 5.1.**

II. Współpraca obejmująca wykorzystanie wielowymiarowych technik statystycznych w badaniach z zakresu chemii środowiska i szkodliwości zanieczyszczeń:

1. z dr inż. Anetą Pacyną (wówczas doktorantką) i jej ówczesną promotorką, prof. dr hab. inż. Żanetą Polkowską, w analizie wpływu zanieczyszczeń środowiska na elementy środowiska biotycznego Svalbardu, w szczególności na skład próbek pobranych nieinwazyjnymi metodami od reniferów svalbardzkich (*Rangifer tarandus*

subsp. platyrhynchus) (**H23**) – działanie we współpracy z prof. dr. hab. Marcinem Frankowskim, specjalistą w zakresie analiz stężeń pierwiastkowych techniką indukcyjnie sprzężonej plazmy ze spektrometrią mas (ICP-MS), oraz prof. dr. hab. Michałem Węgrzynem i dr Pauliną Wietrzyk-Pełką (wówczas doktorantką) z Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, a także dr inż. Sarą Lehmann-Konera, doktorantką prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej,

2. z dr inż. Ewą Jaszczak (wówczas doktorantką) i jej ówczesną promotorką, prof. dr hab. inż. Żanetą Polkowską, w analizie wpływu zanieczyszczeń chemicznych na zdrowie człowieka, w szczególności zależność zdrowia dzieci od zawartości cyjanków w próbkach pobranych metodami nieinwazyjnymi od karmiących matek i dzieci, w kontekście nałogu palenia papierosów i ekspozycji na palenie bierne u matek (**H24**, **H25**) – działanie we współpracy z dr hab. med. Bogumiłą Kiełbratowską z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego,
3. z dr inż. Anną Sulej-Suchomską z Uniwersytetu Morskiego w Gdyni i prof. dr hab. inż. Żanetą Polkowską z Politechniki Gdańskiej, w analizie metod oznaczania związków chemicznych z grupy benzotriazoli w spływach wód opadowych z terenu lotniska (**H26**). Współpraca z UM w Gdyni i dr inż. Sulej-Suchomską została zapoczątkowana już wcześniej, w trakcie projektu SONATA pod moim kierownictwem, co zostało udokumentowane umową o współpracy naukowo-badawczej między Uniwersytetem Morskim w Gdyni a Politechniką Gdańską, z dnia 31.01.2020.

Publikacje:

H23. Pacyna, A.D., Frankowski, M., Koziół, K., Węgrzyn, M.H., Wietrzyk-Pełka, P., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., **2019.** Evaluation of the use of reindeer droppings for monitoring essential and non-essential elements in the polar terrestrial environment, *Sci. Total Environ.* 658, 1209-1218, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.232.

H24. Jaszczak, E., Koziół, K., Kiełbratowska, B., Polkowska, Ż., **2019.** Application of ion chromatography with pulsed amperometric detection for the determination of trace cyanide in biological samples, including breast milk, *Journal of Chromatography B* 1110, 36-42, doi: 10.1016/j.jchromb.2019.02.008.

H25. Jaszczak-Wilke, E., Koziół, K., Kiełbratowska, B., Polkowska, Ż., **2021.** Ion Chromatography with Pulsed Amperometric Detection for Determining Cyanide in Urine and Meconium Samples. *Molecules* 26, 4672, doi: 10.3390/molecules26154672.

H26. Sulej-Suchomska A.M., Koziół, K., Polkowska Ż., **2024.** Comprehensive Analysis and Environmental Risk Assessment of Benzotriazoles in Airport Stormwater: A HS-SPME-GC × GC-TOF-MS-Based Procedure as a Tool for Sustainable Airport Runoff Water Management. *Sustainability* 16 (12), art. no 5152, DOI: 10.3390/su16125152

III. Współpraca z Uniwersytetem Arystotelesa w Salonikach (Grecja), nawiązana przez dr inż. Joannę Potapowicz z Politechniki Gdańskiej, ówczesną doktorantkę prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej. Efektem współpracy jest publikacja nawiązująca do realizowanego przeze mnie wówczas tematu dotyczącego stężeń pestycydów chlorowcoorganicznych w środowisku Arktyki (wymieniona praca dotyczyła Antarktyki, jednak między tymi obszarami okolicznościowymi można znaleźć liczne analogie):

Publikacje:

H27. Potapowicz, J., Lambropoulou, D., Nannou, C., Koziół, K., Polkowska, Ż., **2020.** Occurrences, sources, and transport of organochlorine pesticides in the aquatic environment of Antarctica, *Sci. Total Environ.*, 735, 139475, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139475.

IV. W ramach współpracy z zespołem z Politechniki Gdańskiej i rozwinięciem współpracy z dr inż. Sarą Lehmann-Konera, ówczynie pracującą na UMCS, przygotowana została także praca dotycząca składu chemicznego opadów deszczu w okolicach Bellsundu na Spitsbergenie, w której uczestniczyli również inni naukowcy z UŚ (dr hab. Marek Ruman, prof. uczelni, dr Łukasz Małarzewski), UAM (prof. dr hab. Marcin Frankowski), a także ze Stanowego Uniwersytetu Mississippi (dr Krzysztof Raczyński):

Publikacje:

H28. Lehmann-Konera, S., Ruman, M., Frankowski, M., Małarzewski, Ł., Raczyński, K., Pawlak, F., Koziół, K., Polkowska, Ż., **2023.** Rainwater chemistry composition in Bellsund: Sources of elements and deposition discrepancies in the coastal area (SW Spitsbergen, Svalbard). Chemosphere 313, 137281. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137281>

5.4.2. Współpraca z naukowcami w Uniwersytecie Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, wzbogacona współpracą z innymi jednostkami naukowymi w Polsce

Współpraca z naukowcami w Uniwersytecie Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie rozpoczęła się podczas mojego zatrudnienia na tej uczelni, i była kontynuowana po zmianie miejsca pracy na Politechnikę Gdańską. Współpraca z naukowcami z UP Kraków zaowocowała nowymi kontaktami naukowymi z innymi uczelniami w Polsce, i obejmowała badania stężeń zanieczyszczeń transportowanych na dalekie odległości na obszary Arktyki i sub-Arktyki. W ramach tej współpracy powstały dwie publikacje. Pierwsza z nich została napisana z dr inż. Joanną Korzeniowską i ówczynie dr. Danielem Okupnym (obecnie dr hab., prof. US), oraz z prof. dr hab. Elżbietą Bezak-Mazur z Politechniki Kieleckiej i prof. dr. hab. Stanisławem Żurkiem z Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach (wówczas profesorowie emerytowani). Praca ta dotyczyła zróżnicowania przestrzennego stężeń wybranych metali ciężkich w torfach na Wyspach Sołowieckich. Druga praca powstała w ramach współpracy z dr hab. Wandą Wilczyńską-Michalik, prof. UP, z Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie; a także z prof. dr. hab. inż. Markiem Michalikiem i jego studentem mgr. Mikołajem Woroszem z Uniwersytetu Jagiellońskiego, oraz dr inż. Sarą Lehmann-Konera z UMCS w Lublinie i prof. dr hab. inż. Żanetą Polkowską oraz jej doktorantem (obecnie dr. inż.) Filipem Pawlakiem z Politechniki Gdańskiej. Praca ta dotyczyła zanieczyszczeń antropogenicznych w powietrzu atmosferycznym w okolicach Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Spitsbergenie.

Publikacje:

H29. Koziół, K., Korzeniowska, J., Okupny, D., Bezak-Mazur, E., Żurek, S., **2020.** Trace elements content of surface peat deposits in the Solovetsky Islands (White Sea), *Mires and Peat* 26, 05, doi: 10.19189/MaP.2018.OMB.384.

H30. Pawlak F., Koziół K., Wilczyńska-Michalik W., Worosz M., Michalik M., Lehmann-Konera S., Polkowska Ż., **2024.** Characteristics of Anthropogenic Pollution in the Atmospheric Air of South-Western Svalbard (Hornsund, Spring 2019). *Water* 16 (11), 1486, doi: 10.3390/w16111486

5.4.3. Współpraca w ramach zatrudnienia w projekcie NCN OPUS PER2Water (kierownik dr hab. Danuta Szumińska, prof. UKW) z naukowcami w Uniwersytecie Gdańskiego, UAM i Uniwersytecie Wrocławskiego

Od 2022 roku, zyskałam status wykonawcy w projekcie badawczym NCN OPUS pod kierownictwem dr hab. Danuty Szumińskiej, prof. UKW, pt. *PER2Water – PERsistent organic pollutant remobilisation from PERmafrost into surface Waters*. W ramach tego projektu, poza współpracą z zespołem z Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, gdzie jestem obecnie zatrudniona, oraz kontynuacją współpracy z Politechniką Gdańską (PG pełni rolę Partnera w projekcie, z zespołem pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Żanety Polkowskiej), miałam również okazję do współpracy z naukowcami z innych uczelni. W tym gronie należy wymienić Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu (prof. dr hab. Marcin Frankowski), Uniwersytetu Wrocławskiego (dr Marta Jakubiak, prof. dr hab. Mariusz Orion Jędrysek) oraz Uniwersytetu Gdańskiego (dr Kamil Nowiński). Dalsze prace w ramach projektu trwają (objęły również częściowo wymienioną wcześniej pracę w ramach AMAP).

Publikacje:

H31. Józwik, J.K., **Kozioł, K.**, Frankowski, M., Jakubiak, M., Nowiński, K., Jędrysek, M., Szumińska, D., Polkowska, Ż., 2026. Does Palsa Thaw in Northern Finland Contribute to Remobilisation of Metals Accumulated in Peat Into Surface Waters? *L. Degrad. Dev.*, 37 (9), 4230-4250, doi: 10.1002/ldr.70370.

H16. Muir D., Gunnarsdóttir, M.J., **Kozioł, K.**, von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., 2025. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environmental Science: Advances*, 4, 355-408, doi: 10.1039/D4VA00240G.

5.4.4. Współpraca w ramach zatrudnienia w projekcie NCN Sonatina (kierownik dr inż. Joanna Potapowicz) z naukowcami w Uniwersytecie Gdańskiego, Instytutu Biologii i Biofizyki PAN, Instytutu Geografii i Zagospodarowania Przestrzennego PAN, oraz UAM, UMCS i PG

W 2025 roku, uczestniczyłam także w wyprawie badawczej na Wyspę Króla Jerzego w Antarktyce w ramach projektu NCN Sonatina dr inż. Joanny Potapowicz z Uniwersytetu Gdańskiego (tytuł projektu: *Badanie modyfikacji chemizmu i parametrów limnologicznych wód pod wpływem zróżnicowanego zasilania przez degradację kriosfery oraz analiza migracji zanieczyszczeń w peryglacjalnym środowisku zlewni niezłodowaconych na Lions Rump, Antarktyka*). W zakresie przygotowania do tej wyprawy, uczestniczyłam także w opracowaniu wcześniej zebranych danych, na podstawie których przygotowany został artykuł we współpracy z dr inż. Joanną Potapowicz, gdzie wykonałam analizy statystyczne. Materiał opracowano we współpracy z dr Joanną Plenzler z IBB PAN, dr hab. Robertem Bialikiem, prof. IBB PAN, dr Justyną Dudek z IGiPZ PAN, prof. dr. hab. Marcinem Frankowskim z UAM i dr hab. Anettą Zioła-Frankowską, prof. UAM, dr inż. Sarą Lehmann-Konera z UMCS i prof. dr hab. inż. Żanetą Polkowską, z Politechniki Gdańskiej.

Publikacje:

H32. Potapowicz, J., **Kozioł, K.**, Plenzler, J., Bialik, R. J., Dudek, J., Frankowski, M., Zioła-Frankowska, A., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., 2026. Hydrochemical Characteristics of Four Retreating Glacier Forefields Off the Coast of Admiralty Bay (King

George Island, Maritime Antarctic): Diverse Sources of Metals and Metalloids. L. Degrad. Dev., 37 (4), 1330-1352, doi: 10.1002/ldr.70176.

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

Prowadzenie zajęć dydaktycznych

Od 2011 roku prowadziłam zajęcia dydaktyczne (wówczas ćwiczenia, od 2017 roku także wykłady) na uczelniach, za granicą i w kraju, na których studiowałam, a następnie byłam zatrudniona. Pierwsze doświadczenia dydaktyczne zebrałam na Uniwersytecie w Sheffield w Wielkiej Brytanii oraz w Uniwersyteckim Centrum na Svalbardzie (UNIS), gdzie rozpoczęłam od wsparcia zajęć terenowych i laboratoryjnych oraz sprawdzania prac egzaminacyjnych. Następnie przeszłam do bardziej samodzielnych zadań. Po uzyskaniu stopnia doktora, podjęłam pracę na stanowisku obejmującym prowadzenie wykładów i ćwiczeń na Uniwersytecie Pedagogicznym im. KEN w Krakowie, gdzie prowadziłam zajęcia na kierunkach: geografia, gospodarka przestrzenna ze specjalizacją odnawialne źródła energii, ochrona środowiska, biologia ze specjalnością ochrona środowiska, a także bioinformatyka. Po przerwie na realizację projektu badawczego na Politechnice Gdańskiej, ponownie podjęłam pracę na stanowisku badawczo-dydaktycznym na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego, gdzie prowadziłam i prowadzę zajęcia na kierunkach: geografia, turystyka i rekreacja, oraz zarządzanie kryzysowe w środowisku. Poniżej znajduje się zestawienie przedmiotów, z których zajęcia dydaktyczne prowadziłam, w odwróconej kolejności chronologicznej.

W Instytucie Geografii/na Wydziale Nauk Geograficznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego (2021/22-2025/26):

- *Język obcy w pracy badacza (Szkoła Doktorska)*
- *Warsztat Badacza II (Szkoła Doktorska)*
- *Turystyka specjalistyczna*
- *Przyrodnicze uwarunkowania rozwoju turystyki*
- *Metody badań zmian środowiska pod wpływem działalności człowieka*
- *Problemy ochrony i degradacji gleb w Polsce*
- *Geochemia środowiska*
- *Gospodarka wodna i przemiany stosunków wodnych*
- *Potamologia*
- *Geoinformacja*
- *Kartografia turystyczna*
- *Informatyka w branży turystycznej*
- *Obóz turystyczno-rekreacyjny*
- *Geograficzny warsztat pracy*
- *Seminarium dyplomowe*
- *Geografia turystyczna świata*
- *Geografia turystyczna Polski*

W ramach pracy dydaktycznej na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego, uczestniczyłam także w projekcie dydaktycznym „Kierunki – drogi do gospodarki” (nr projektu FERS.01.05-IP.08-0268/23, w ramach którego przygotowywałam materiały dydaktyczne tak, aby dostosować przedmiot „Geograficzny warsztat pracy” dla I roku geografii licencjackiej do wymogów zielonej i cyfrowej transformacji. Projekt ten uzyskał dofinansowanie z Funduszy Europejskich dla Rozwoju Społecznego. W ramach projektu odbyłam także 8-godzinne

szkolenie pt. „Wybrane problemy zielonej transformacji z elementami wiedzy w dydaktyce akademickiej”, zrealizowane przez Collegium Wratislaviense, oraz szkolenie dotyczące wykorzystania narzędzi z zakresu sztucznej inteligencji w dydaktyce.

Na Uniwersytecie Pedagogicznym im. KEN w Krakowie (2017/18):

- *Meteorologia i klimatologia*
- *Podstawy monitoringu środowiskowego*
- *Narzędzia informatyczne w zarządzaniu środowiskiem*
- *Zarządzanie zasobami wodnymi*
- *Przyrodnicze uwarunkowania wykorzystania odnawialnych źródeł energii*
- *Energetyka słoneczna*
- *Ćwiczenia terenowe z geografii fizycznej, topografii i teledetekcji*

Na Uniwersytecie w Sheffield (2010/11-2013/14):

- GEO154 *Geoenvironmental Fieldwork Skills* [Umiejętności terenowe w badaniach geośrodowiskowych] – zajęcia terenowe
- GEO150 *Practical Methods for Physical Geography* [Praktyczne metody badań w geografii fizycznej] - zajęcia terenowe i laboratoryjne
- GEO161 *Geographical Data Analysis 1* [Analiza danych geograficznych 1] – sprawdzanie prac zaliczeniowych (wyników zadań wymagających użycia oprogramowania GIS)
- GEO108 *Earth's Changing Surface* [Zmiany powierzchni Ziemi], GEO164 *Understanding and Managing Environmental Issues* [Rozumienie i kształtowanie środowiska] oraz GEO165 *New Horizons in Geography* [Nowe horyzonty w geografii] – ocenianie egzaminów
- GEO263/GEO266 *Research Skills for Physical Geography* [Umiejętności w badaniach fizycznogeograficznych] - zajęcia terenowe i laboratoryjne
- GEO6604 *Geochemical Techniques in Environmental Analysis* [Techniki geochemiczne w analizie środowiska] - zajęcia laboratoryjne

W Uniwersyteckim Centrum na Svalbardzie (UNIS) (2011-2012):

- AG-340 *Arctic Glaciers and Landscapes* [Arktyczne lodowce i krajobrazy] - zajęcia terenowe

Nadzór nad realizacją prac dyplomowych i doktorskich

W okresie od października 2021 do chwili obecnej pełniłam następujące role:

- promotorstwo 5 prac licencjackich na kierunku geografia.

Ponadto, w niesformalizowanej roli, uczestniczyłam w mentoringu studentów na poziomie studiów licencjackich i magisterskich w Wielkiej Brytanii (Sheffield, 2012-2014), a następnie na poziomie studiów magisterskich i doktoranckich na Politechnice Gdańskiej, o czym świadczą wspólne publikacje z ówczesnymi studentami (2015-2025). W szczególności dotyczy to dr. inż. Filipa Pawlaka, który podczas studiów doktoranckich pełnił rolę doktoranta-stypendysty w projekcie pod moim kierownictwem (*Sea-snow POPs*).

Osiągnięcia organizacyjne

- 06.2015-07.2016: Polska Stacja Polarna Hornsund (Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk), rola Zastępcy Kierownika XXXVIII Wyprawy ds. Naukowych.
- Od 2021: rozpoczęcie współpracy z AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) – ciałem eksperckim Rady Arktycznej (warsztaty w Lyngby, uczestnictwo w opracowaniu dotyczącym roli lokalnych i dalekich źródeł zanieczyszczeń w Arktyce – w postaci publikacji przeglądowych, z których

pierwsza ukazała się w druku – Muir i in. 2025, **H16**), zaangażowanie jako Chapter Co-Lead w realizację kolejnego opracowania dotyczącego trendów w stężeniach zanieczyszczeń organicznych w Arktyce;

- 2021-2022: Zawiązanie wraz z prof. Rolandem Kallenbornem (wówczas z UNIS i NMBU) konsorcjum HERMOSA: organizacja dwóch warsztatów naukowych i przygotowanie raportu o stanie środowiska na Svalbardzie SESS Report;
- 2023: Organizacja konferencji (członek Komitetu Organizacyjnego) – XIII Sesja Paleolimnologiczna (23-24.03.2023, Bydgoszcz),
- 2024: wprowadzenie Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego do Polskiego Konsorcjum Polarnego,
- 2025: Członek Komitetu Lokalnego konferencji międzynarodowej „Cryospheric Ecosystems Conference” (Poznań, 1-4.09.2025).
- 2025: Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego konferencji „40th International Polar Symposium” (w skrócie: 40. Sympozjum Polarnego; 4-7.11.2025, Muzeum Badań Polarnych, Puławy),

Pełnienie funkcji dydaktycznych

- (przed uzyskaniem stopnia dr): udział w pracach Jury Zawodów Okręgowych XXXV Olimpiady Geograficznej i Nautologicznej, 17-18.01.2009 r. w Sosnowcu (WNoZ UŚ),
- (przed uzyskaniem stopnia dr): czynny udział w przygotowaniu i przeprowadzeniu części merytorycznej zawodów **IV Środkowoeuropejskiej Olimpiady Geograficznej** dla uczniów szkół średnich, w których uczestniczyli przedstawiciele 9 państw regionu (Chorzów i Bielsko-Biała, 15-21.09.2009 r.)
- (po uzyskaniu stopnia dr): Opiekun roku dla studiów licencjackich na UKW, na kierunku geografia w latach 2022/23-2024/25,
- 2023: Członkini Jury XLIX Olimpiady Geograficznej dla uczniów szkół średnich, finał w Katowicach, 21-23.04.2023),
- 2025: Członek Rady Programowej nowo utworzonego na UKW kierunku „Odnawialne źródła energii” (prace rady zostały rozpoczęte wiosną 2025) – studia licencjackie na Wydziale Nauk Geograficznych, na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy,
- 2025: zastępca opiekuna organizacji studenckiej „Inicjatywa Klimatyczna UKW”.

Udział w warsztatach dydaktycznych

- (przed uzyskaniem stopnia dr): udział w XIV Sosnowieckim Forum Nauczycieli Przyrody i Geografii;
- (przed uzyskaniem stopnia dr): udział w Ogólnopolskich Warsztatach Nauczycieli Geografii, towarzyszących Zawodom Finałowym XXXVI Olimpiady Geograficznej i XIX Olimpiady Nautologicznej (Supraśl, 08-11.04.2010), jako opiekun uczestników olimpiady z regionu śląskiego na zawodach finałowych.

Popularyzacja nauki

- osobista plansza na wystawie National Geographic (2022) „Kobiety – czas zmian” („Women of Impact”), wystawiana w centralnych przestrzeniach miast Polski: Sopotu, Torunia i Warszawy (w Centrum Nauki Kopernik);

- umieszczenie informacji o sylwetce i badaniach naukowych przez National Geographic Learning w podręczniku do chemii dla szkół średnich (12th Grade) wydanym w USA 24.11.2025;
- Wykłady popularyzujące wiedzę o Arktyce i Antarktyce, zanieczyszczeniach środowiska i zmianach klimatu, np. na Dniu Polarnym UMK (ok. 1000 uczestników), wykład w Młynie Wiedzy w Toruniu pt. „Kryzys klimatyczny – ślad węglowy” w ramach programu SPINaj Naukę (z transmisją online na żywo), wykład na XIV Bydgoskim Festiwalu Nauki, warsztaty dla nauczycieli podczas zawodów finałowych Olimpiady Geograficznej, wykłady online i osobiste w szkołach (głównie w liceach ogólnokształcących) dotyczące badań polarnych oraz zmian klimatycznych; a także podczas wydarzeń na UKW, takich jak „Dzień Geografa 2024”.
- Wywiady do prasy i TV (ze stacji polarnej dla Dzień Dobry TVN, na Dniu Polarnym UMK dla TV Bydgoszcz), podcast „Co robią geografowie? – Badania Arktyki” na 50-lecie Olimpiady Geograficznej, wywiady dla lokalnej „Gazety Wyborczej” i innej prasy, Webinar AMAP rozpowszechniający osiągnięcia opracowania, w którym uczestniczyłam.
- Przygotowanie dwujęzycznych plansz do wystawy edukacyjnej pod kierownictwem dr hab. Danuty Szumińskiej, prof. uczelni, pt. „Badania Polarne kluczem do zrozumienia zmian klimatyczno-środowiskowych Ziemi” (WNG UKW, KNG PAN, IGiPZ PAN: <https://geografia.ukw.edu.pl/jednostka/wydzial-nauk-geograficznych/wystawa-badania-polarne>).
- Wystąpienia popularyzujące w szkołach lub dla młodzieży szkolnej:
 - przed uzyskaniem stopnia doktora: wygłoszenie prelekcji „Zmierzyć się ze sławą polskich polarników – Spitsbergen” w ramach obchodów Dnia Ziemi 22.04.2010 organizowanych przez Bytomskie Koło Terenowe Polskiego Towarzystwa Geograficznego, wygłoszenie dwóch prelekcji pt. „Okiem młodego polarnika” i „Na dalekiej północy” dla uczniów SP nr 20 im. M. Kopernika w Sosnowcu wiosną roku 2010, przeprowadzenie prelekcji pt. „Polska Stacja Polarna na Spitsbergenie” dla kl. 6 i szkolnego koła przyrodniczego w SP nr 20 im. M. Kopernika w Sosnowcu w dniu 10.03.2009 r.;
 - po uzyskaniu stopnia naukowego doktora: m.in. w VI i XI LO w Bydgoszczy (tematyka zmian klimatycznych oraz obszarów polarnych Arktyki i Antarktyki, w kwietniu 2025), online dla II LO w Będzinie w roku 15.02.2023, online dla SP w Zebrzydowicach w kwietniu 2025.

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

Projekty badawcze

2008-2010: Praca magisterska przygotowana w ramach udziału w projekcie MNiSW w ramach projektu 4. Międzynarodowego Roku Polarne IPY POLARCAT (1173/IPY/2007/01/2 – projekt na lata 2008-2010, aktywny udział w latach 2008 i 2009): *Wpływ zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w troposferze na skład chemiczny opadów atmosferycznych i zmiany klimatu w Arktyce i Antarktyce POLARCAT (kierownik projektu dr Wiesława Ewa Krawczyk - obecnie dr hab., z Uniwersytetu Śląskiego)*

2010-2012: kierownik kilku małych grantów na badania terenowe, związanych z realizacją projektu doktorskiego *The provenance, composition and fate of organic carbon in an Arctic glacier* [Pochodzenie, skład i losy materii organicznej w arktycznym lodowcu]: **Gilchrist Educational Trust, University of Sheffield Centenary Fund** [Funduszu Stulecia Uniwersytetu w Sheffield], **Henrietta Hutton Research Grant RGS** - Królewskiego Towarzystwa Geograficznego z siedzibą w Londynie, **Arctic Field Grant RCN** – Norweskiej Rady Naukowej.

2013-2016: kierownik grantu NCN PRELUDIUM *Globalne rozmrażanie: charakterystyka materii organicznej wytapiającej się z lodowców* (nr 2012/05/N/ST10/02848)

2016-2018: Udział jako wykonawca w projekcie międzynarodowym C2S3 (*Community Coordinated Snow Study in Svalbard*), sfinansowanym przez Svalbard Science Forum (nr projektu 257636/E10).

2016-2018: kierownik projektu National Geographic Society Science and Exploration Grant POP Greenland: *The current deposition of POPs (persistent organic pollutants) across the Greenland Ice Sheet* (nr GEFNE 174-16). Dodatkowe finansowanie również od **Percy Sladen Memorial Fund** (kierownik małego projektu).

2018-2022: kierownik grantu NCN SONATA *Sea-snow POPs: wtórny obieg trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w Arktyce* (nr 2017/26/D/ST10/00630)

2019: kierownik projektu międzynarodowego SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) Research Infrastructure Access Project **SVal-POPs** (*Spatial VARIability: VALidation dataset on POPs concentrations in snow*) (nr 2018_0009)

2021-2022: wykonawca w projekcie prof. Rolanda Kallenborna (UNIS, NMBU) – **Svalbard Strategic Grant HERMOSA:** *Harmonizing Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere* (Harmonizacja badań środowiskowych i monitoringu kluczowych zanieczyszczeń w atmosferze na Svalbardzie) (nr 311270)

2022-2027: wykonawca w projekcie NCN OPUS pod kierownictwem dr hab. Danuty Szumińskiej, prof. UKW, **PER2Water** — *Uwalnianie trwałych zanieczyszczeń organicznych ze zmarzliny do wód powierzchniowych* (nr 2021/41/B/ST10/0294).

2023-24 – stypendium Fundacji Kościuszkowskiej na projekt pt. *Spatial patterns in aerosol deposition in the city of Glasgow*

2024-2025: kierownik zespołu na UKW w projekcie predefiniowanym międzynarodowym *Bilateral initiative aiming at harmonisation of the Svalbard cooperation* (**HarSval**) (kierownik dr Dariusz Ignatiuk, Uniwersytet Śląski, finansowanie z Funduszy Norweskich i EOG, nr projektu 2023/43/7/ST10/00001)

2024-2025: kierownik minigrantu realizowanego w ramach programu **RID** (Regionalna Inicjatywa Doskonałości) pt. „Nauki ścisłe i inżynierskie podstawą wielodyscyplinarnego rozwoju Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego” (kierownik programu: prof. Artur Działuk, Wydział Nauk Biologicznych UKW), tytuł minigrantu: *Wpływ czynników środowiskowych na skład chemiczny osadów jeziornych w Europie Środkowej i Północnej*.

2025: Wykonawca w projekcie NCN Sonatina (kierownik dr inż. Joanna Potapowicz, UG) pt. *Badanie modyfikacji chemizmu i parametrów limnologicznych wód pod wpływem zróżnicowanego zasilania przez degradację kriosfery oraz analiza migracji zanieczyszczeń w peryglacjalnym środowisku zlewni niezlodowaconych na Lions Rump, Antarktyka*

2026: przyznano finansowanie w konkursie grantowym **Sonata Bis NCN** dla projektu **pod kierownictwem K. Kozioł** „*Perma-DeszCz: wpływ opadów deszczu na uwalnianie węgla organicznego z permafrostu w Dalekiej Arktyce*” (nr projektu 2025/58/E/ST10/00342)

Wyprawy badawcze

zima 2024/25 – wyprawa do **refugium terenowego Lion’s Rump i Polskiej Stacji Antarktycznej im. Henryka Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego (Antarktyka)**, zorganizowana przez dr Joannę Potapowicz w ramach grantu NCN SONATINA nr 2023/48/C/ST10/00167 (projekt *Badanie modyfikacji chemizmu i parametrów limnologicznych wód pod wpływem zróżnicowanego zasilania przez degradację kriosfery oraz analiza migracji zanieczyszczeń w peryglacjalnym środowisku zlewni niezlodowaconych na Lions Rump, Antarktyka*, kierownik projektu: dr Joanna Potapowicz).

wiosna 2024 - wyprawa międzyuczelniana do **Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Svalbardzie** zorganizowana przez dr. Bartłomieja Luksa z Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, w ramach grantu *HarSval*, bilateralnej polsko-norweskiej inicjatywy finansowanej za pośrednictwem NCN przez Fundusze Norweskie i EOG.

lato 2023 - wyprawa UKW i Politechniki Gdańskiej do stacji **Toolik na Alasce**, w ramach grantu NCN OPUS *PER2Water* kierowanego przez prof. Danutę Szumińską

lato 2022 - wyprawa UKW i Politechniki Gdańskiej do stacji **Kevo w północnej Finlandii**, w ramach grantu NCN OPUS *PER2Water* kierowanego przez prof. Danutę Szumińską

lato 2021 - wyprawa UKW i Politechniki Gdańskiej do stacji **Czerski na Syberii (Kołyma)**, w ramach grantu INTERACT *PollAct* kierowanego przez prof. Danutę Szumińską

wiosna 2021 - Wyprawa Politechniki Gdańskiej na **Svalbard**, w ramach realizacji grantu NCN SONATA

wiosna 2019 - Wyprawa Politechniki Gdańskiej na **Svalbard (Hornsund i Ny Alesund)**, w ramach realizacji grantów NCN SONATA i SIOS RI Access

wiosna 2018 - Projekt Naukowo-Eksploracyjny Towarzystwa National Geographic - *organizacja wyprawy na Grenlandię i wsparcie z kraju dla jej uczestniczek*

2015/16 - **załoga zimowa Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Svalbardzie**

lato 2014 - Wyprawa Politechniki Gdańskiej na **Svalbard (Longyearbyen)** w ramach realizacji grantu NCN PRELUDIUM

wiosna i lato 2012 - Wyprawa Uniwersytetu w Sheffield (we współpracy z UNIS-em) na **Svalbard (Longyearbyen)**, realizacja Arctic Field Grant

wiosna i lato 2011 - Wyprawa Uniwersytetu w Sheffield (we współpracy z UNIS-em) na **Svalbard (Longyearbyen)**, obóz terenowy na morenie lodowca

wiosna i lato 2009 - Wyprawy Uniwersytetu Śląskiego na **Svalbard (Hornsund)** w ramach projektu POLARCAT IPY

lato 2008 - praktyka w Instytucie Geofizyki PAN - wyprawa do Polskiej Stacji Polarnej **Hornsund na Svalbardzie**

Pelnienie funkcji organizacyjnych na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego

- Opiekun laboratorium
- od listopada 2024 członkini Rady Naukowej Wydziału Nauk Geograficznych UKW
- delegatka Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego do Rady Polskiego Konsorcjum Polarnego

Nagrody i wyróżnienia

2025 - Nagroda Rectorska za działalność organizacyjną w roku 2025 przyznana przez JM Rektora UKW

2024 – Nagroda Indywidualna III stopnia za uzyskanie finansowania projektu badawczego, przyznana przez JM Rektora UKW

2023 - Stypendium Fundacji Kościuszkowskiej

2022 - Osobista plansza na wystawie fotograficznej National Geographic *Kobiety — czas zmian* (*Women: A century of change*; wśród polskich “Women of impact”). Wystawa otwarta od sierpnia 2022, pokazywana w Toruniu, Sopocie i Warszawie plenerowo, być może także w innych miastach

2022 - Nagroda Indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2022, przyznana przez JM Rektora UKW.

2020 - Nagroda Rektora Politechniki Gdańskiej dla „Młodych Pracowników Nauki” za działalność w 2019 roku

2010 – ujęcie w gronie najlepszych absolwentów Uniwersytetu Śląskiego z uroczystym wręczeniem dyplomu magistra geografii

2009 – Laureatka I edycji konkursu Wyróżnień JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego za aktywność studencką

2008 – ujęcie w gronie najlepszych absolwentów Uniwersytetu Śląskiego z uroczystym wręczeniem dyplomu licencjata geografii

2007 – II miejsce w konkursie referatów XXI Ogólnopolskiego Zjazdu Kół Naukowych Geografów w Wiśle (19-22.04.2007)

2005 – stypendium Ministra Edukacji Narodowej za wybitne osiągnięcia w roku szkolnym 2004/2005

Członkostwo w stowarzyszeniach

Royal Geographical Society – 2017/2018

Europejska Unia Geofizyczna (EGU) – członkostwo rozpoczęte w roku 2025

Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) – członkostwo rozpoczęte w roku 2025

Udział w szkoleniach i stażach z zakresu umiejętności badawczych i związanych z współpracą między nauką a gospodarką, dodatkowe uprawnienia

- (przed uzyskaniem stopnia dr): ukończony i kurs i zdany egzamin potwierdzający uprawnienia przewodnika górskiego beskidzkiego klasy III na obszar zachodni Beskidów Zachodnich (potwierdzone protokołem egzaminacyjnym z dn. 17.06.2007 r.). Uprawnienia nadal posiadane przez aplikującą.
- (przed uzyskaniem stopnia dr): udział w IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej *Chromatografia jonowa – nowoczesna metoda oznaczania anionów i kationów w wodach i ściekach* (9-10.04.2008, Katowice).
- (przed uzyskaniem stopnia dr): ukończenie zorganizowanych w dniach 23-24.09.2008 r. *Warsztatów z Praktycznej Chromatografii Jonowej* (organizowanych przez IPIŚ PAN w Zabrze i WNoZ UŚ w Sosnowcu);
- (przed uzyskaniem stopnia dr): **przeprowadzenie** zorganizowanych w dniach 11-12.02.2009 r. *II Warsztatów z Praktycznej Chromatografii Jonowej* (organizowanych przez IPIŚ PAN w Zabrze i WNoZ UŚ w Sosnowcu), przekazując wiedzę w zakresie: teorii i zastosowań chromatografii jonowej, systemów detekcji, metod przygotowania próbek, optymalizacji procesów rozdzielania, rozwiązywania podstawowych problemów związanych z użytkowaniem chromatografów i interpretacji wyników analiz chromatograficznych.
- (przed uzyskaniem stopnia dr): staż w ramach projektu *Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy* (14.12.2009-14.03.2010) w Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach,
- (przed uzyskaniem stopnia dr): uczestnictwo w I Warsztatach Hydrologicznych *Monitoring poziomu, przepływu i jakości wody* – Goczałkowice-Zdrój, 22.10.2011 r.
- udział w całodniowym seminarium *MATLAB i Simulink*, Gdańsk, 21.03.2019 r.

Redakcja czasopism i prac naukowych

Redaktor (Associate Editor) w czasopiśmie *The Cryosphere* (EGU/Copernicus, JCR journal, IF 4,4).

Redaktor tomu pokonferencyjnego z konferencji *40th International Polar Symposium: Arctic and Antarctic at the Tipping Point* (Puławy, 4-7.11.2025), w formie specjalnego numeru czasopisma *Publications of the Institute of Geophysics* (tom 455, doi: 10.25171/InstGeoph_PAS_Publs-2025-067)

Recenzje prac i projektów naukowych

- Recenzje artykułów naukowych – łącznie >30 recenzji, w tym >25 recenzji w czasopismach z listy JCR, w latach 2017-2025. Recenzowałam m.in. dla czasopism:
 - Science of the Total Environment (IF 4,6-10,8, w latach 2017-2022, 4 recenzje),
 - Geoscience Frontiers (IF 8,5),
 - Environmental Pollution (IF 7,6),
 - Marine Pollution Bulletin (IF 5,8),
 - Scientific Reports (IF 4.9),
 - AMBIO (IF 4,78),
 - Journal of Hydrology (IF 4,5).
- Recenzja projektu NAWA.

- Udział w panelu oceniającym międzynarodowe granty badawcze w holendersko-niemieckim programie polarnym NPP NWO AWI.

.....
(podpis wnioskodawcy)



PODPIS ZAUFANY

KRYSTYNA ANNA
KOZIOŁ

27.08.2026 12:33:14 GMT+0200

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Załącznik nr 3:

**Wykaz osiągnięć naukowych
albo artystycznych, stanowiących znaczny
wkład w rozwój określonej dyscypliny**

**I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO
ARTYSTYCZNYCH,
o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 Ustawy**

- 1. Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy;
lub**

Nie dotyczy

- 2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych,
zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy:**

**Badanie zróżnicowania przestrzennego i czasowego zawartości składników
chemicznych w pokrywie śnieżnej jako narzędzie służące do rozróżniania
ich źródeł pierwotnych i wtórnych w Arktyce**

H1: Koziol, K., Kozak, K., Polkowska, Ż., 2017. Hydrophobic and hydrophilic properties of pollutants as a factor influencing their redistribution during snowpack melt, Sci. Total Environ., 596–597, 158–168, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.061.

H2: Koziol, K.A., Moggridge, H.L., Cook, J.M., Hodson, A.J. 2019. Organic carbon fluxes of a glacier surface: A case study of Foxfonna, a small Arctic glacier, Earth Surface Processes and Landforms 44 (2), 405–416, doi: 10.1002/esp.4501.

H3: Koziol, K., Uszczyk, A., Pawlak, F., Frankowski, M., Polkowska, Z., 2021. Seasonal and Spatial Differences in Metal and Metalloid Concentrations in the Snow Cover of Hansbreen, Svalbard. Front. Earth Sci. 8, doi: 10.3389/feart.2020.538762.

H4: Pawlak F., Koziol K., Polkowska Z., 2021. Chemical hazard in glacial melt? The glacial system as a secondary source of POPs (in the Northern Hemisphere). A systematic review, Sci. Total. Environ., doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145244.

H5: Barbaro, E., Koziol, K., Björkman, M.P., Vega, C.P., Zdanowicz, C., Martma, T., Gallet, J.-C., Kępski, D., Larose, C., Luks, B., Tolle, F., Schuler, T. V, Uszczyk, A., Spolaor, A., 2021. Measurement report: Spatial variations in ionic chemistry and water-stable isotopes in the snowpack on glaciers across Svalbard during the 2015–2016 snow accumulation season. Atmos. Chem. Phys. 21, 3163–3180, doi: 10.5194/acp-21-3163-2021.

H6: Pawlak, F., Koziol, K.A., Kosek, K., Polkowska, Z., 2022. Local variability in snow concentrations of chlorinated persistent organic pollutants as a source of large uncertainty in interpreting spatial patterns at all scales. J. Environ. Qual. 51, 411–424, doi: 10.1002/jeq2.20343.

H7: Pawlak, F.*, Koziol, K.*, Frankowski, M., Nowicki, Ł., Marlin, C., Sulej-Suchomska, A.M., Polkowska, Ż., 2023. Sea spray as a secondary source of chlorinated persistent organic pollutants? - Conclusions from a comparison of seven fresh snowfall events in 2019 and 2021. Sci. Total Environ. 891, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164357 (***równy wkład autorski** = równorzędne pierwsze autorstwo)

3. Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy.

Nie dotyczy

4. Inne, niż wymienione w pkt. I.1-3, osiągnięcia naukowe lub artystyczne.

4.1. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

4.1.1. Udział w monografiach przed uzyskaniem stopnia doktora

Nie dotyczy

4.1.2. Udział w monografiach po uzyskaniu stopnia doktora

1. Pacyna A., **Koziół K.**, Ruman M., Polkowska Ż., 2015: The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in the chosen area of Svalbard [w:] K. Migąła, P. Owczarek, M. Kasprzak, M.C. Strzelecki (red.), *New perspectives in polar research*, University of Wrocław, Committee on Polar Research of the Polish Academy of Sciences, Polar Club of the Polish Geographical Society, Association of Polar Early Career Scientists. Poland Municipality of Wrocław, 85-96 (**rozdział w monografii w języku angielskim**).
2. Lehmann-Konera S., Ruman M., **Koziół K.**, Gajek G., Polkowska Ż., 2017: Glaciers as an important element of the World Glacier Monitoring implemented in Svalbard. *Glaciers*. Publisher: INTECH. (**rozdział w monografii w języku angielskim**).

4.2. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (niewymienionych w pkt I.2).

4.2.1. Wykaz artykułów opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora

Artykuły w czasopismach z listy JCR:

1. Ruman, M., Olkowska, E., **Koziół, K.**, Absalon, D., Matysik, M., Polkowska, Ż., **2014**. Reducing Cost of Industrially Contaminated Rivers Monitoring: Cluster and Regression Analysis Approach, *Journal of Environmental Quality*, 753-762, doi:10.2134/jeq2013.06.0225.
2. Kozak, K., Polkowska, Ż., Ruman, M., **Koziół, K.**, Namieśnik, J., **2013**. Analytical studies on the environmental state of the Svalbard Archipelago provide a critical source of information about anthropogenic global impact, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 50, 107-126, doi: 10.1016/j.trac.2013.04.016.

3. Ruman, M., **Koziol, K.**, Kozak, K., Lehmann, S., Polkowska, Ż., 2012. Pollutants present in different components of the Svalbard archipelago environment, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 19(4), 571–584, doi: 10.2478/v10216-011-0040-9.
4. Polkowska, Ż., Cichała-Kamrowska, K., Ruman, M., **Koziol, K.**, Krawczyk, W. E., Namieśnik, J., 2011. Organic Pollution in Surface Waters from the Fuglebekken Basin in Svalbard, Norwegian Arctic, *Sensors*, 11, 8910-8929, doi: 10.3390/s110908910.

Artykuły w czasopismach spoza listy JCR:

5. Spórna T., **Koziol K.**, Gabas A., 2011: Motywy podjęcia studiów na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w 2009 roku, *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, 12, 79-93.
6. **Koziol K.**, Sobala M., 2010: Geologiczne uwarunkowania ukształtowania jaskiń szczelinowych w masywie Skrzycznego (NE Beskid Śląski, Karpaty Zachodnie), *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, 11, 28-34.
7. **Koziol K.**, Koptyńska A., 2008: Źródła Sztoly – wybrane problemy hydrologiczne, *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, 8, 58-67.
8. **Koziol K.**, 2006: Walory przyrodnicze oraz charakterystyka środowiska geograficznego Góry Tuł i Zadniego Gaju, *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, 7, 42-50.

Artykuły w materiałach konferencyjnych:

9. **Koziol, K.**, Kozak, K., Polkowska, Ż. (2014) Superimposed ice as nutrient storage. In: *Proceedings of the 2014 International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST 2014)*, 14-16.05.2014, Gdańsk.
10. **Koziol, K.**, Ruman, M., Kozak, K., Polkowska, Ż. (2014) Release and transport of toxic, mobile organic compounds (formaldehyde and phenols) on an Arctic glacier, *5th ICESD 2014*, Singapore, published in *APCBEE Procedia*, indexed in the Web of Science.
11. Absalon, D., Ruman, M., Matysik, M., **Koziol, K.**, Polkowska, Ż. (2014) Innovative Solutions in Surface Water Quality Monitoring, *5th International Conference on Environmental Science and Development-ICESD 2014*, 19-20.02.2014, Singapore, published in: *APCBEE Procedia*, indexed in the Web of Science.
12. Ruman M., **Koziol K.**, 2013: *Zastosowanie analizy statystycznej w redukcji kosztów monitoringu zanieczyszczeń rzek i jezior*. (Statistical analysis as a tool for cost reduction in river and lake pollution monitoring). [w] Dunalska J. (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior*, XVII Ogólnopolska Konferencja Limnologiczna. Materiały konferencyjne. Olsztyn, 24-27 września 2013 s. 71-72.
13. Absalon D., Ruman M., **Koziol K.**, 2010: Zmiany odpływu w zlewni górnej Kłodnicy w II połowie XX wieku [w] Wrzesiński D., (red.) *Woda – Środowisko – Zmiany. Odpływ rzeczny i jego regionalne uwarunkowania*. Studia i Prace z Geografii i Geologii nr 12. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, s. 23-32.
14. **Koziol, K.**, Krawczyk, W. E. (2009) Chemical characteristics of extreme precipitation episodes at Hornsund, Svalbard, *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska (Water Relations*

Transformation in Conditions of Changing Environment), 7-10.10.2009, Sosnowiec-Zakopane, Poland. Materiały konferencyjne, WNoZ UŚ, PTG & RZGW (s.165-176).

4.2.2. Wykaz artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora

[numeracja w nawiasach kwadratowych odpowiada symbolom użytym w Załączniku nr 2, w kolejności wymieniania tamże – tu kolejność odwrócona chronologiczna]

Artykuły w czasopismach z listy JCR:

1. Sułowicz, S., Zawierucha, K., Markowicz, A., **Koziol, K.**, Zientak, W., Nawrot, A., Tomaszewski, K., Keuschnig, C., Luks, B., Larose, C., 2026. Vertebrate impact on bacterial community structure of coastal Arctic spring snowpacks. *Biogeosciences* 23, 3023–3038. <https://doi.org/10.5194/BG-23-3023-2026> [H21]
2. Józwik, J.K., **Koziol, K.**, Frankowski, M., Jakubiak, M., Nowiński, K., Jędrysek, M., Szumińska, D., Polkowska, Ż., 2026. Does Palsa Thaw in Northern Finland Contribute to Remobilisation of Metals Accumulated in Peat Into Surface Waters? *L. Degrad. Dev.*, 37 (9), 4230-4250, doi: 10.1002/ldr.70370. [H31]
3. Potapowicz, J., **Koziol, K.**, Plenzler, J., Bialik, R.J., Dudek, J., Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., 2026. Hydrochemical Characteristics of Four Retreating Glacier Forefields Off the Coast of Admiralty Bay (King George Island, Maritime Antarctic): Diverse Sources of Metals and Metalloids. *L. Degrad. Dev.* 37 (4), 1330-1352, doi: 10.1002/ldr.70176. [H32]
4. Muir D., Gunnarsdóttir, M.J., **Koziol, K.**, von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., 2025. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environ. Sci. Adv.* 4, 355-408, doi: 10.1039/D4VA00240G. [H16]
5. Pawlak F., **Koziol K.**, Wilczyńska-Michalik W., Worosz M., Michalik M., Lehmann-Konera S., Polkowska Ż., 2024. Characteristics of Anthropogenic Pollution in the Atmospheric Air of South-Western Svalbard (Hornsund, Spring 2019). *Water* 16 (11), art. no 1486, doi: 10.3390/w16111486. [H30]
6. Sulej-Suchomska A.M., **Koziol K.**, Polkowska Ż., 2024. Comprehensive Analysis and Environmental Risk Assessment of Benzotriazoles in Airport Stormwater: A HS-SPME-GC × GC-TOF-MS-Based Procedure as a Tool for Sustainable Airport Runoff Water Management. *Sustainability* 16 (12), art. no 5152, doi: 10.3390/su16125152. [H26]
7. Keuschnig, C., Vogel, T.M., Barbaro, E., Spolaor, A., **Koziol, K.**, Björkman, M.P., Zdanowicz, C., Gallet, J.-C., Luks, B., Layton, R., Larose, C., 2023. Selection processes of Arctic seasonal glacier snowpack bacterial communities. *Microbiome* 11, 35, doi: 10.1186/s40168-023-01473-6. [H17]
8. Lehmann-Konera, S., Ruman, M., Frankowski, M., Małarzewski, Ł., Raczyński, K., Pawlak, F., **Koziol, K.**, Polkowska, Ż., 2023. Rainwater chemistry composition in Bellsund: Sources of elements and deposition

- discrepancies in the coastal area (SW Spitsbergen, Svalbard). *Chemosphere* 313, 137281, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137281. [H28]
10. Szumińska, D., **Koziol, K.**, Chalov, S.R., Efimov, V.A., Frankowski, M., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., **2023.** Reemission of inorganic pollution from permafrost? A freshwater hydrochemistry study in the lower Kolyma basin (North-East Siberia). *L. Degrad. Dev.* 34 (17), 5591-5605, doi: 10.1002/ldr.4866. [H22]
 11. Jaszczak-Wilke, E., **Koziol, K.**, Kielbratowska, B., Polkowska, Ż., **2021.** Ion Chromatography with Pulsed Amperometric Detection for Determining Cyanide in Urine and Meconium Samples. *Molecules* 26, 4672, doi: 10.3390/molecules26154672. [H25]
 12. Ruman M., Kosek K., **Koziol, K.**, Cieply, M., Kozak-Dylewska, K., Polkowska, Ż., **2021.** A High-Arctic flow-through lake system hydrochemical changes: Revvatnet, southwestern Svalbard (years 2010–2018), *Chemosphere*, 275, 130046, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130046. [H15]
 13. Spolaor A., Moroni B., Luks B., Nawrot A., Roman M., Larose C., Stachnik Ł., Bruschi F., **Koziol K.**, Pawlak F., Turetta C., Barbaro E., Gallet, J.-C., Cappelletti, D. **2021.** Investigation on the Sources and Impact of Trace Elements in the Annual Snowpack and the Firn in the Hansbreen (Southwest Spitsbergen), *Front. Earth. Sci.* 8, doi: 10.3389/feart.2020.536036. [H19]
 14. Zdanowicz, C., Gallet, J.-C., Björkman, M. P., Larose, C., Schuler T., Luks B., **Koziol K.**, Spolaor A., Barbaro E., Martma T., van Pelt, W., Wideqvist U., Ström J. **2021.** Elemental and water-insoluble organic carbon in Svalbard snow: a synthesis of observations during 2007–2018, *Atmos. Chem. Phys.* 21, 3035–3057, doi: 10.5194/acp-21-3035-2021. [H18]
 15. **Koziol, K.**, Korzeniowska, J., Okupny, D., Bezak-Mazur, E., Żurek, S., **2020.** Trace elements content of surface peat deposits in the Solovetsky Islands (White Sea), *Mires and Peat* 26, 05, doi: 10.19189/MaP.2018.OMB.384. [H29]
 16. **Koziol, K.**, Ruman, M., Pawlak, F., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2020.** Spatial Differences in the Chemical Composition of Surface Water in the Hornsund Fjord Area: A Statistical Analysis with A Focus on Local Pollution Sources, *Water* 12 (2), 496, doi: 10.3390/w12020496. [H14]
 17. Potapowicz, J., Lambropoulou, D., Nannou, C., **Koziol, K.**, Polkowska, Ż., **2020.** Occurrences, sources, and transport of organochlorine pesticides in the aquatic environment of Antarctica, *Sci. Total Environ.*, 735, 139475, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139475. [H27]
 18. Kosek, K., **Koziol, K.**, Luczkiewicz, A., Jankowska, K., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2019.** Environmental characteristics of a tundra river system in Svalbard. Part 2: Chemical stress factors, *Sci. Total Environ.* 653, 1585-1596, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.012. [H10]
 19. Kosek, K., Luczkiewicz, A., **Koziol, K.**, Jankowska, K., Ruman, M., Polkowska, Ż., **2019.** Environmental characteristics of a tundra river system in Svalbard. Part 1: Bacterial abundance, community structure and nutrient levels, *Sci. Total Environ.* 653, 1571-1584, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.378. [H9]
 20. Jaszczak, E., **Koziol, K.**, Kielbratowska, B., Polkowska, Ż., **2019.** Application of ion chromatography with pulsed amperometric detection for the determination of trace cyanide in biological samples, including breast milk,

Journal of Chromatography B 1110, 36-42, doi: 10.1016/j.jchromb.2019.02.008. [H24]

21. Pacyna, A.D., Frankowski, M., **Koziol, K.**, Węgrzyn, M.H., Wietrzyk-Pełka, P., Lehmann-Konera, S., Polkowska, Ż., **2019**. Evaluation of the use of reindeer droppings for monitoring essential and non-essential elements in the polar terrestrial environment, *Sci. Total Environ.* 658, 1209-1218, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.232. [H23]
22. Pawlak, F., **Koziol, K.**, Ruman, M., Polkowska, Ż., **2019**. Persistent organic pollutants (POPs) as an indicator of surface water quality in the vicinity of the Polish Polar Station, Hornsund, *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly* 150 (9), 1573-1578, doi: 10.1007/s00706-019-02475-7. [H13]
23. Kosek, K., Kozak, K., **Koziol, K.**, Jankowska, K., Chmiel, S., Polkowska, Ż., **2018**. The interaction between bacterial abundance and selected pollutants concentration levels in an arctic catchment (southwest Spitsbergen, Svalbard), *Sci. Total Environ.* 622, 913-923, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.342. [H8]
24. Kozak, K., Polkowska, Ż., Stachnik, Ł., Luks, B., Chmiel, S., Ruman, M., Lech, D., **Koziol, K.**, Tsakovski, S., Simeonov, V., **2016**. Arctic catchment as a sensitive indicator of the environmental changes: distribution and migration of metals (Svalbard), *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 2779–2796, doi: 10.1007/s13762-016-1137-6. [H12]
25. Kozak, K., **Koziol, K.**, Luks, B., Chmiel, S., Ruman, M., Marć, M., Namieśnik, J., Polkowska, Ż., **2015**. The role of atmospheric precipitation in introducing contaminants to the surface waters of the Fuglebekken catchment, Spitsbergen, *Polar Res.* 34, 24207, doi: 10.3402/polar.v34.24207. [H11]

Artykuły w czasopismach spoza listy JCR:

Peachey, I., **Koziol, K.**, **2015**. An optical brightening agent dye trace at Shep Pot, Leck Fell, Lancashire, UK. *Cave Karst Sci.* 42.

Artykuł opublikowany w repozytorium ZENODO:

Zdanowicz, C., Salvatori, R., Gallet, J.-C., Malnes, E., Isaksen, K., Hübner, C., Lihavainen, H., Bradley, J., Cooper, E., Deshpande, M., Di Mauro, B., Eckerstorfer, M., Elster, J., Engeset, R., Ferrighi, L., Fihol, S., Godøy, Ø., Hancock, H., Hunstad, I., Ignatiuk, D., Jacobi, H.-W., Jawak, S., Jennings, I., Kozioł, K., Larose, C., Lefevre, P.-M., Li, L., Loonen, M., Luks, B., Meinander, O., Melvold, K., Mortarini, L., Nawrot, A., Nævdal, G., Pedersen, C., Pohjola, V., Saloranta, T., Salzano, R., Spolaor, A., Sund, M., Svensson, J., Van Pelt, W., Viola, A., Vitale, V., Xie, Z., Zhang, J., **2021**. An agenda for the future of snow research in Svalbard - a multidomain approach. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6415927>

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

1. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii.

Nie dotyczy

2. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.

1.1. Wystąpienia na konferencjach przed uzyskaniem stopnia doktora:

Konferencje międzynarodowe – referaty (w tym współautorstwo):

2010 - Kinnvika and SvalGlac Workshop, 8-10.10.2010, Gdynia, Poland - wystąpienie:

- Koziół, K., Krawczyk, W.E.: *Chemical composition of summer season precipitation water in Hornsund – pollution sources and transport pathways.*

2014 - 5th International Conference on Environmental Science and Development-ICESD 2014, 19-20.02.2014, Singapore – referaty:

- Koziół, K., Ruman, M., Kozak, K., Polkowska, Ż. – *Release and transport of toxic, mobile organic compounds (formaldehyde and phenols) on an Arctic glacier.*

- Absalon, D., Ruman, M., Matysik, M., Koziół, K., Polkowska, Ż.: *Innovative Solutions in Surface Water Quality Monitoring.*

2014 - 2014 International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST 2014), 14-16.05.2014, Gdańsk – współautorstwo referatu:

- Koziół, K., Kozak, K., Polkowska, Ż.: *Superimposed ice as nutrient storage.*

2015 - Arctic Science Summit Week, 23-30.04.2015, Toyama, Japonia – wystąpienie:

- Koziół, K., Brown E., Rutter N., Moggridge H., Hodson A.: *Thermal and hydrological controls over organic matter redistribution in glacial snow cover.*

Konferencje międzynarodowe – postery:

2013 - 2nd Water Research conference, Singapore, 20-23.01.2013, Singapore Expo:

- Ruman, M., Olkowska, E., Absalon, D., Koziół, K., Matysik, M., Polkowska, Ż.: *Monitoring Strategy for Industrially Contaminated Rivers – Cost Reducing Practice Using Statistical Analysis.*

2012 - Workshop on the Dynamics and Mass Budget of Arctic Glaciers & the IASC Network on Arctic Glaciology Annual Meeting, 10–13.01.2012, Zieleniec, Poland:

- Koziół, K.: *A question of glacial accumulation of... organic matter*

2008 – Mezinárodní geomorfologická konference (Międzynarodowa konferencja geomorfologiczna Czeskiego Stowarzyszenia Geomorfologów), 3-6.06.2008, Šlapanice, Republika Czeska:

- Koziół K., Sobala M.: *Origin of the cave-forming crevices in the Skrzyczne massif (NW Silesian Beskid, Western Carpathians)*

Konferencje krajowe:

2013 - Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior, XVII Ogólnopolska Konferencja Limnologiczna, Olsztyn, 24-27 września 2013 – współautorstwo wystąpienia:

- Ruman M., Koziół K., 2013: *Zastosowanie analizy statystycznej w redukcji kosztów monitoringu zanieczyszczeń rzek i jezior.*

2013 - **UK Arctic Science conference, Cambridge, 18-20 września 2013** – wygłoszenie wystąpienia:

- Koziol, K., Moggridge, H. L., Hodson, A. J. 2013: *The organic carbon budget of a glacial system: organic matter recycling scheme?*

2011 - **UKPN workshop: High latitude biology, ecosystems and the future: A multidisciplinary approach**, British Antarctic Survey, Cambridge, 17-18 listopada 2011 – poster:

- Koziol, K. 2011: *The Melting Garden: Organic carbon cycle in glaciers*,

2010 - **Woda – Środowisko – Zmiany. Odptyw rzeczny i jego regionalne uwarunkowania** – współautorstwo wystąpienia:

Absalon D., Ruman M., Koziol K.: *Zmiany odpływu w zlewni górnej Kłodnicy w II połowie XX wieku.*

2009 - **Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska (Water Relations Transformation in Conditions of Changing Environment), 7-10.10.2009, Sosnowiec-Zakopane** – referat:

- Koziol, K., Krawczyk, W. E.: *Chemical characteristics of extreme precipitation episodes at Hornsund, Svalbard.*

2007 – wystąpienie podczas XXI Ogólnopolskiego Zjazdu Kół Naukowych Geografów w Wiśle dot. składu jonowego wód źródeł Sztoły (II miejsce w konkursie referatów, autorki: Koziol K., Koptyńska A.).

1.2. Wystąpienia na konferencjach po uzyskaniu stopnia doktora:

2026 – **3rd Asian Conference on Permafrost (ACOP), Ulan Bator, Mongolia** – wygłoszenie referatu:

- Koziol, K.A., Szopińska, M., Frankowski, M., Dymerski, T., Jóźwik, J., Czapiewski, S., Polkowska, Ż., & Szumińska, D.: *Chemical Impacts on Surface Waters of a Degrading Permafrost Bank of the Kolyma River (NE Siberia).*

- **współautorstwo posteru:**

- Potapowicz J., Koziol K., Tylmann K., Frankowski M., Ziola-Frankowska A., Jakubiak M., Bialik R., Lehmann-Konera S., Sulej-Suchomska A. M., Polkowska, Ż.: *Contrasting Geochemical Tracers of Permafrost Thaw in Marginal Cold Regions: Metals, Isotopes, and PAHs from the Caucasus and Maritime Antarctica.*

2026 – **UArctic Congress, Thorshavn, Wyspy Owcze** – wygłoszenie referatu:

- Koziol K., Muir D., Gunnarsdóttir M. J., von Hippel F. A., Szumińska D., Ademollo N., Corsolini S., De Silva A., Gabrielsen G. W., Kallenborn R., Polkowska Ż., Krüemmel E., Vorkamp K., de Wit C.: *Local sources versus long-range transport of organic pollutants in the Arctic: Future emissions and releases related to climate change*

- **współautorstwo referatu:**

- Muir D., Gunnarsdóttir M. J., Koziol K., von Hippel F. A., Szumińska D., Ademollo N., Corsolini S., De Silva A., Gabrielsen G. W., Kallenborn R., Polkowska Ż., Krüemmel E., Vorkamp K., de Wit C.: *Local sources versus long-range transport of organic pollutants in the Arctic: Potential future emissions due to expansion of infrastructure and economic activity*

2025 – **40th International Polar Symposium (40. Sympozjum Polarne), Puławy, Polska** - wygłoszenie **referatu**:

- Koziół K., Szumińska D., Szopińska M., Chalov S., Jóźwik J., Dymerski T., Polkowska Ż.: *Thawing Off a Cliff: Organic Chemicals in Surface Waters Connected to a Degrading Yedoma Bank Outcrop (Kolyma, Siberia)*.

- **współautorstwo posterów**:

- Jóźwik J., Koziół K., Szumińska D., Frankowski M., Jakubiak M., Nowiński K., Wołyński M., Polkowska Ż.: *Inorganic Chemistry of Surface Waters in the Palsa Mires Region of Northern Finland*.

- Potapowicz J., Koziół K., Jakubiak M., Frankowski M., Bialik R. J., Sulej-Suchomska A., Lehmann-Konera S., Jóźwik J., Polkowska Ż.: *Isotopic and Geochemical Signatures of Proglacial Lakes at Lions Rump (King George Island, Antarctica): Identifying Hydrological Sources and Assessing Chemical Composition in a Changing Polar Environment*.

- Szumińska D., Koziół K., Pawlak F., Nowiński K., Czapiewski S., Polkowska Ż.: *Toolik Lake Sediment Record as a PAHs and Other Pollution Accumulation Proxy in Permafrost Region of Alaska*.

- Zientak W., Koziół K., Tomaszewski K., Nawrot A., Pielas H., Luks B.: *Variability of Organic Carbon and Nitrogen Concentrations in the Snow Cover of a Non-glaciated Catchment in Svalbard*.

2025 – **7th International Hybrid Conference Water Resources and Wetlands, 10-14.09.2025, Tulcea, Rumunia** –

wygłoszenie **posteru**:

- Koziół K., Szumińska D., Pawlak F., Nowiński K., Czapiewski S., Polkowska Ż.: *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) variability in an arctic lake sediment record*.

- **współautorstwo referatu**:

- Jóźwik J., Szumińska D., Koziół K., Frankowski M., Pawlak F., Nowiński K., Polkowska Ż.: *Analysis of chemical composition of surface water from areas of discontinuous permafrost, including palsa mires, in northern Finland*.

2025 – **Cryospheric Ecosystems Conference, Poznań, Polska** - wygłoszenie **referatu**:

- Koziół K., Muir D., Gunnarsdóttir M. J., von Hippel F. A., Szumińska D., Ademollo N., Corsolini S., De Silva A., Gabrielsen G. W., Kallenborn R., Polkowska Ż., Kruemmel E., Vorkamp K.: *Arctic cryosphere as a potential future secondary source of persistent organic pollutants (POPs) and contaminants of emerging Arctic concern (CEACs)*.

- **postery**:

- K. Koziół, D. Szumińska, M. Szopińska, F. Pawlak, J. Jóźwik, Ż. Polkowska: *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface waters from the lower Kolyma catchment resemble those from permafrost sources*.

- D. Szumińska, K. Koziół, F. Pawlak, K. Nowiński, S. Czapiewski, Ż. Polkowska: *A lake in the permafrost region as a pollution trap: case study of Toolik Lake (Alaska)*.

2025 - **SETAC Europe 35th Annual Meeting, 11-15.09.2025, Wiedeń, Austria** – **współautorstwo posteru**:

- Muir D., Gunnarsdóttir M. J., K. Koziół, von Hippel F.A., Szumińska D., Ademollo N., Corsolini S., De Silva A., Gabrielsen G.W., Kallenborn R., Polkowska Ż., Kruemmel E., Vorkamp K.: *Local sources versus long-range transport of POPs and CEACs in the Arctic: Future developments related to climate change*.

2025 – **Polar Night Week, Longyearbyen, Svalbard - współautorstwo posterów:**
- Zientak W., Koziół K., Tomaszewski K., Nawrot A., Luks B., Pielas H., *Variability of organic carbon and nitrogen concentrations in the snow cover of a non-glaciated catchment in Svalbard.*

- Szumińska D., Koziół K., Szopińska M., Pawlak F., Jóźwik J., Polkowska Ż., *Potential polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) remobilisation into a Great Arctic River from thawing permafrost.*

- Jóźwik J., Koziół K., Maré M., Larose C., Lehmann-Konera S., Czerwińska L., Zientak W., Feist B., Luks B., Polkowska Ż., *Tracing the environmental impact of research activity through investigation of PAHs and PCBs in the snow cover surrounding the Polish Polar Station Hornsund.*

2024 – **Ogólnopolska Konferencja Naukowa pt. Zmiany klimatu i ich środowiskowe konsekwencje, Poznań, Polska – współautorstwo posteru:**

- Zientak W., Koziół K., Tomaszewski K., Nawrot A., Luks B., Pielas H.: *Zmienność stężeń węgla organicznego w pokrywie śnieżnej zlewni niezlodowaczonej na Svalbardzie.*

2024 - **12th ICOP (International Conference on Permafrost), Whitehorse, Kanada:**

- współautorstwo **referatu:** Jóźwik J., Koziół K., Frankowski M., Nowiński K., Pawlak F., Polkowska Ż., Szumińska D., *Inorganic chemistry of surface waters in the palsas region of Northern Finland.*

- współautorstwo **posteru:** Szumińska D., Koziół K., Szopińska M., Pawlak F., Jóźwik J., Polkowska Ż., *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface waters from the lower Kolyma catchment resemble those from permafrost sources.*

2023 - **GUMIC (Global User Meeting IC, Metrohm), Herisau, Szwajcaria - referat:** Koziół K., Nawrot A., Stachnik Ł.: *Examples of environmental chemistry research questions answered with the Metrohm 761 IC and Metrohm 930 Compact IC Flex at the Polish Polar Station Hornsund.*

2023 – **39. Sympozjum Polarne BIS, Sopot, Polska**

– **postery:**

- Koziół K., Pawlak F., Frankowski M., Nowicki Ł., Jóźwik J., Polkowska Ż.: *On the sea spray as a potential dispersal pathway for persistent organic pollutants (POPs) found in fresh arctic snowfall.*

- Szumińska D., Koziół K., Szopińska M., Chalov S. R., Efimov V. A., Frankowski M., Polkowska Ż.: *Water chemistry of the lower Kolyma River and its tributaries based on data for the summer of 2021.*

- Szumińska D., Koziół K., Szopińska M., Frankowski M., Czerwińska L., Polkowska Ż.: *Chemical characteristics of vertical profiles of the two thermokarst lakes in the Russian Arctic (the lower Kolyma basin).*

2023 - **ASSW (Arctic Science Summit Week), Wiedeń, Austria – postery:**

- Koziół K., Pawlak F., Frankowski M., Nowicki Ł., Polkowska Ż.: *On the sea spray as a potential dispersal pathway for persistent organic pollutants (POPs) found in fresh arctic snowfall.*

- Szumińska D., Koziół K., Szopińska M., Chalov S. R., Efimov V. A., Frankowski M., Polkowska Ż.: *Water chemistry of the lower Kolyma River and its tributaries based on data for the summer of 2021.*

- Szumińska D., Kozioł K., Szopińska M., Frankowski M., Polkowska Ż.: *Chemical characteristics of vertical profiles of the two thermokarst lakes in the Russian Arctic (the lower Kolyma basin).*

2023 – **XIII Sesja Paleolimnologiczna, Bydgoszcz, Polska** – współautorstwo **referatu**:

- Szumińska D., Kozioł K., Polkowska Ż.: *PER2Water — Uwalnianie trwałych zanieczyszczeń organicznych ze zmarzliny do wód powierzchniowych — prezentacja projektu* – wygłoszenie **posteru**: Szumińska D., Kozioł K., Szopińska M., Frankowski M., Polkowska Ż.: *Characteristics of vertical profiles of two thermokarst lakes in the Russian Arctic (the lower Kolyma basin).*

2023 - **PNW (Polar Night Week)**, Longyearbyen, Svalbard - współautorstwo **prezentacji** rozdziału raportu o stanie środowiska na Svalbardzie (SESS Report) *HERMOSA*: Kozioł K., Kallenborn, R., Xie, Z., Larose, C., Spolaor, A., Barbaro, E., Kavan, J., Kępski, D., Nikulina, A., Zawierucha, K., Pearce, D., Cockerton, L., Nawrot, A., Pawlak, F., Pakszys, P., & Cappelletti, D. *Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere.*

2022 - **IAHS (XIth Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences)**, Montpellier, Francja - **poster**: Szumińska D., Kozioł K., Szopińska M., Chalov S.R., Efimov V.A., Frankowski M., Polkowska Ż.: *Persistent organic pollutants remobilisation from permafrost? A preliminary study in the Kolyma basin (Russian Arctic).*

2021 - **Arctic Science Summit Week, Lizbona, online** – wygłoszenie **referatu**: K. Kozioł, A. Nawrot, F. Pawlak, Ł. Stachnik, A. Uszczyk, M. Frankowski, Ż. Polkowska: *Sea spray deposition in Svalbard snow dependent on topography? Lessons learned from two projects in the Hornsund area.*

- **poster**: F. Pawlak, K. Kozioł, K. Kosek, Ż. Polkowska: *Local and regional variability in snow concentrations of chosen POPs in Svalbard: lessons learned on field sampling protocols.*

2020 - **Polar Night Week, Longyearbyen, Svalbard** – **referat**: K. Kozioł, F. Pawlak, K. Kosek, A. Callegaro, N. Maffezzoli, Ż. Polkowska: *Local and regional variability in snow concentrations of chosen POPs in Svalbard: lessons learned on field sampling protocols.*
- **poster**: K. Kozioł, M. Ruman, F. Pawlak, S. Chmiel, Ż. Polkowska: *Spatial differences in the chemical composition of surface waters in the Hornsund fjord area.*

2019 - **Polar Night Week, Longyearbyen, Svalbard** – **poster**: K. Kozioł, A. Callegaro, F. Pawlak, K. Kosek, N. Maffezzoli, Ż. Polkowska: *Sval-POPs project: evaluating the spatial variability of POPs concentrations in snow.*

2019 - **Svalbard Science Conference, Oslo** – **postery**:
- F. Pawlak, K. Kozioł, M. Ruman, Ż. Polkowska: *Metal and metalloid concentrations in freshwater media in the Hornsund area of Svalbard.*
- K. Kozioł, A. Uszczyk, F. Pawlak, K. Kosek, D. Kępski, A. Nawrot, Ż. Polkowska, & the C2S3 Project Consortium: *Signatures of winter and spring warm events in the snowpack from Hans glacier, Hornsund area.*

2018 - **Harmosnow Workshop on Snow Chemistry Monitoring (Cost-action workshop)**, Kolm Saigurn, Sonnblick / Austria, 26 luty – 2 marca 2018 – wystąpienie:

- K. Koziół, A. Uszczyk, M. Frankowski, K. Kosek, Ż. Polkowska: *Spatial distribution of macro- and microelements in the snow of a glacier in southern Svalbard: a snapshot.*

2018 - IX Sesja Paleolimnologiczna „Dynamika zmian klimatycznych w czwartorzędzie oraz granica późny glacjał/holocen w osadach biogenicznych południowej Polski”

pod patronatem Jego Magnificencji Rektora Uniwersytetu Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie prof. dr hab. Kazimierza Karolczaka, **15 – 16 marca 2018, Kraków – wygłoszenie wystąpienia:**

- K. Kosek, K. Kozak, K. Koziół, K. Jankowska, S. Chmiel, Ż. Polkowska: *Zależność między składem chemicznym a wskaźnikami bakteriologicznymi w jeziorach przepływowych zlewni Revelvy (Spitsbergen, Arktyka).*

2017 – Arctic Science Summit Week, 31. marca – 7 kwietnia 2017, Praga, Czechy:

- **wygłoszenie wystąpienia:** K. Kozak, P. Żuchowska, K. Koziół, Ż. Polkowska: *Investigating Residues of Organochlorine Pesticides in Surface Water Samples from the Arctic Catchment of Revelva River (Hornsund, Svalbard).*

- **poster:** K. Koziół, K. Kozak, Ż. Polkowska: *The Fluxes of PAHs in a Small Glacial Catchment in the High Arctic.*

2016 – Warsztaty: Taking the next step in Svalbard snow science – Phase II, 9-11.11.2016, Gothenburg, Sweden – wystąpienie:

- Koziół, K., Kępski, D., Luks, B., Nawrot, A.: *The ionic composition of snowpits on Hans and Werenskiöld glaciers: patterns and differences.*

2016 – XXXVI Polar Symposium "Progress in polar research - new experiences and challenges", Lublin, Poland – współautorstwo wystąpień:

- Jania, J., Koziół, K., Tyc, A.: *New karst springs in the Hornsund area, Southern Spitsbergen.*

- Kępski, D., Luks, B., Koziół, K., Nawrot, A., Wawrzyniak, T., Migala, K.: *Spatial variability of snow cover properties during ablation season on unglaciated coast of Hornsund Fjord.*

Referaty na zaproszenie:

2022 – **HERMOSA workshop**, Longyearbyen, Svalbard, 14-17.09.2022 – Koziół K., Kallenborn, R., Xie, Z., Larose, C., Spolaor, A., Barbaro, E., Kavan, J., Kępski, D., Nikulina, A., Zawierucha, K., Pearce, D., Cockerton, L., Nawrot, A., Pawlak, F., Pakszys, P., & Cappelletti, D.: *HERMOSA: Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere.*

2021 - **Arctic Circle conference, Reykjavik, Islandia** - Koziół K., Pawlak F., Polkowska Ż.: *Why are there still persistent organochlorine pollutants in Svalbard snow?*

3. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego konferencji „40. Sympozjum Polarne: Arktyka

i Antarktyka w krytycznym punkcie zmian” / „**40th International Polar Symposium: Arctic and Antarctic at the tipping point**”, zrealizowanej w dniach **4-7.11.2025 r.** w Puławach.

Udział w Komitecie Lokalnym międzynarodowej konferencji „**Cryospheric Ecosystems Conference**”, zrealizowanej w dniach **1-5.09.2025 r.** w Poznaniu.

Udział w komitecie organizacyjnym międzynarodowych warsztatów naukowych „**School for Polar Hydrology**” realizowanych w ramach projektu *HarSval*, **4-8.11.2024 r.** w Karpaczu.

Udział w komitecie naukowym i organizacyjnym konferencji ogólnopolskiej **XIII Sesja Paleolimnologiczna** pod patronatem Sekcji Paleolimnologii Polskiego Towarzystwa Limnologicznego, Komitetu Badań Czwartorzędu i JM Rektora UKW prof. dr hab. Jacka Woźnego; w dniach **23-24.03.2023 r.** na Wydziale Nauk Geograficznych UKW w Bydgoszczy.

Udział w komitecie organizacyjnym międzynarodowych warsztatów naukowych **HERMOSA (Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere)**, realizowanych w ramach projektu HERMOSA (PI: Prof. Roland Kallenborn), w dniach **14-17.09.2022 r.** w Longyearbyen (Svalbard).

Udział w komitecie organizacyjnym międzynarodowych warsztatów naukowych **Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere**, realizowanych w ramach projektu HERMOSA (PI: Prof. Roland Kallenborn), w dniach **5-6.10.2021 r.** przez Instytut Geofizyki PAN Warszawie, w formacie **online**.

4. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.

4.1. Projekty badawcze zakończone przed uzyskaniem stopnia doktora (realizacja zakończona):

- 1.** Praca magisterska przygotowana w ramach **udziału w projekcie MNiSW** w ramach projektu 4. Międzynarodowego Roku Polarnego IPY POLARCAT (1173/IPY/2007/01/2 – projekt na lata 2008-2010, aktywny udział w latach 2008 i 2009): *Wpływ zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w troposferze na skład chemiczny opadów atmosferycznych i zmiany klimatu w Arktyce i Antarktyce POLARCAT*.
- 2.** **Prowadzenie projektu doktorskiego** *The provenance, composition and fate of organic carbon in an Arctic glacier*, połączone ze zdobywaniem funduszy na badania terenowe. Otrzymałam kilka małych grantów na jego realizację:
 - w **2015 r.** - dofinansowanie podróży od JAMSTEC (na konferencję ASSW w Toyamie w Japonii), **1420 EUR**
 - **2012 - Henrietta Hutton Research Grant** (od Królewskiego Towarzystwa Geograficznego w Londynie), **500 GBP**
 - **2012 - Arctic Field Grant** (od Norweskiej Rady Naukowej), **46 500 NOK**
 - **2011** - grant na badania terenowe od Gilchrist Educational Trust, **500 GBP**

- 2011 – Stypendium na Badania Terenowe dla Studentów Geografii (Geography Postgraduate Fieldwork Bursary) od Funduszu Stulecia Uniwersytetu w Sheffield, 500 GBP

4.2. Projekty badawcze zrealizowane (zakończone) po uzyskaniu stopnia doktora:

- 1. Kierowanie projektem krajowym** finansowanym przez NCN (konkurs PRELUDIUM): *Globalne rozmrażanie: charakterystyka materii organicznej wytapiającej się z lodowców (2012/05/N/ST10/02848)*, realizowanym w latach 2013-2016, na kwotę **150 000 PLN**.
- 2. Udział jako wykonawca w projekcie międzynarodowym C2S3** (*Community Coordinate Snow Study in Svalbard*), sfinansowanym przez Svalbard Science Forum (nr projektu **257636/E10**), realizowanym w latach 2016-2018.
- 3. Kierowanie międzynarodowym projektem, POP Greenland**, którego głównym źródłem finansowania był grant **National Geographic Society Science and Exploration Grant (GEFNE 174-16): The current deposition of POPs (persistent organic pollutants) across the Greenland Ice Sheet** na kwotę **19 800 EUR**. Dodatkowo, **Percy Sladen Memorial Fund** przyznał na ten projekt grant *The current deposition of pesticides across the Greenland Ice Sheet* w wysokości **750 GBP**.
- 4. Kierownik projektu międzynarodowego: SVal-POPs** (*Spatial VARIability: VALIDation dataset on POPs concentrations in snow*), posiadającego finansowanie ze SIOS Research Infrastructure Access Project 2018_0009 (kwota: **135 100 NOK**; okres realizacji: 01-10.2019).
- 5. Kierownik projektu krajowego:** pt. *Sea-snow POPs: wtórny obieg trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w Arktyce*; finansowanie z konkursu SONATA 13 przez Narodowe Centrum Nauki (nr projektu 2017/26/D/ST10/00630) na kwotę **1 250 230 PLN** (okres realizacji 01.10.2018-30.09.2021).
- 6. Udział w międzynarodowym projekcie badawczym HERMOSA:** *Harmonizing Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants in the Svalbard Atmosphere* (*Harmonizacja badań środowiskowych i monitoringu kluczowych zanieczyszczeń w atmosferze na Svalbardzie*), Svalbard Strategic Grant (nr projektu 311270), finansowanym przez Norweską Radę Naukową (RCN). Okres realizacji: 2020-2022.
- 7. 2023-24 – stypendium Fundacji Kościuszkowskiej** na projekt pt. *Spatial patterns in aerosol deposition in the city of Glasgow*, **12 000 USD**
- 8. kierownik części projektu realizowanej na UKW w projekcie bilateralnym polsko-norweskim, finansowanym przez Fundusze Norweskie i EOG:** *Bilateral initiative aiming at harmonisation of the Svalbard cooperation (HarSval)* (kierownik projektu: dr Dariusz Ignatiuk, Uniwersytet Śląski; nr projektu 2023/43/7/ST10/00001), okres realizacji: 2024-2025, kwota projektu **170 965,11 PLN (39 196 EUR)** na UKW; 6 891 644 PLN (1 580 000 EUR) kwota całkowita.
- 9. kierownik minigrantu** realizowanego w ramach programu RID (Regionalna Inicjatywa Doskonałości) pt. *Nauki ścisłe i inżynierskie podstawą wielodyscyplinarnego rozwoju Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego* (kierownik programu: prof. dr hab. Artur Działuk, Wydział Nauk Biologicznych UKW), *Wpływ czynników środowiskowych na skład chemiczny osadów jeziornych w Europie Środkowej i Północnej*, okres realizacji 01.03.2024-28.02.2025, kwota projektu **50 000 PLN**.

4.3. Projekty badawcze w realizacji:

- 1.** Wykonawca w projekcie NCN OPUS (kierownik: dr hab. Danuta Szumińska, prof. uczelni): *PER2Water — Uwalnianie trwałych zanieczyszczeń organicznych ze zmarzliny do wód powierzchniowych*, nr projektu 2021/41/B/ST10/0294, okres realizacji 01.2022-01.2027.
- 2.** Wykonawca w projekcie NCN SONATINA (kierownik: dr inż. Joanna Potapowicz): *Badanie modyfikacji chemizmu i parametrów limnologicznych wód pod wpływem zróżnicowanego zasilania przez degradację kriosfery oraz analiza migracji zanieczyszczeń w peryglacjalnym środowisku zlewni niezlodowaconych na Lions Rump, Antarktyka*, nr projektu 2023/48/C/ST10/00167, okres realizacji: 2023-2027.

5. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.

- Królewskie Towarzystwo Geograficzne z siedzibą w Londynie (Royal Geographical Society) – członkostwo w latach 2017/2018
- członkini Jury XLIX Olimpiady Geograficznej dla uczniów szkół średnich (finał w Katowicach, 21-23.04.2023)
- od listopada 2024 członkini Rady Naukowej Wydziału Nauk Geograficznych UKW
- od 2024 - delegatka Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego do Rady Polskiego Konsorcjum Polarnego
- od kwietnia 2025 – członkini Towarzystwa Toksykologii i Chemii Środowiskowej (SETAC)
- od grudnia 2025 – członkini Europejskiej Unii Geofizycznej (EGU)

6. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.

- 11-12.2024:** Staż na Norweskim Uniwersytecie Nauk o Życiu (NMBU, Norwegia), w Ås k. Oslo. Czas trwania: 4 tygodnie. Staż realizowany w ramach mobilności doświadczonych naukowców w projekcie predefiniowanym *HarSval* (opiekun stażu: prof. Dr Rer. Nat. Roland Kallenborn)
- 09.2023-01.2024:** Staż na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (UC Berkeley, USA). Czas trwania: 4,5 miesiąca. Staż sfinansowany w trybie konkursowym jako THE Kościuszko Foundation Fellowship (opiekun stażu: prof. Ronald Cohen).

7. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).

- od kwietnia 2025, pełnienie funkcji redaktora (Associate Editor) w czasopiśmie *The Cryosphere* (EGU Copernicus)

- redaktor tomu konferencyjnego z konferencji *40th International Polar Symposium: Arctic and Antarctic at the Tipping Point (40. Sympozjum Polarne)*, w czasopiśmie *Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences* (t. 457)

8. Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

W latach 2017-2025 wykonałam łącznie ponad 30 recenzji artykułów naukowych, w tym co najmniej 25 recenzji dla czasopism z listy JCR, wśród nich dla prestiżowych tytułów takich jak:

- *Science of the Total Environment* (IF 4,6-10,8, w latach 2017-2022, 4 recenzje),
- *Geoscience Frontiers* (IF 8,5),
- *Environmental Pollution* (IF 7,6),
- *Marine Pollution Bulletin* (IF 5,8),
- *Scientific Reports* (IF 4,9),
- *AMBIO* (IF 4,78),
- *Journal of Hydrology* (IF 4,5).

Ponadto, od roku 2025 pełnię funkcję redaktora (Associate Editor) w czasopiśmie *The Cryosphere*, co oznacza, że dla każdego redagowanego przeze mnie artykułu (do tej pory 12 manuskryptów) przeprowadzam tzw. *access review*, czyli skróconą recenzję wstępną.

9. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.

Udział w projekcie bilateralnym polsko-norweskim, finansowanym przez Fundusze Norweskie i EOG: *Bilateral initiative aiming at harmonisation of the Svalbard cooperation (HarSval)* (kierownik projektu: dr Dariusz Ignatiuk, Uniwersytet Śląski; nr projektu 2023/43/7/ST10/00001), okres realizacji: 2024-2025 (punkt 9.2.8).

Udział (w roku akademickim 2024/25 oraz 2025/26) w projekcie dydaktycznym „Kierunki – drogi do gospodarki” (nr projektu **FERS.01.05-IP.08-0268/23**, obejmującym dostosowanie treści kształcenia do wymogów zielonej i cyfrowej transformacji. Projekt ten uzyskał dofinansowanie z **Funduszy Europejskich dla Rozwoju Społecznego**.

Ponadto: udział w innych projektach międzynarodowych (badawczych), wymienionych w punkcie 9.

10. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.4.

Nie dotyczy

11. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.

Członek komitetu oceniającego granty Rady Naukowej Niderlandów (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, NWO) w ramach Programu Polarnego Niderlandów (Nederlands Polair Programma, NPP; 2025)

NAWA (Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej) – recenzja projektu (2024)

**III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM
I GOSPODARCZYM**

1. Wykaz dorobku technologicznego.

Nie dotyczy

2. Współpraca z sektorem gospodarczym.

Nie dotyczy

3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych.

Nie dotyczy

4. Wykaz wdrożonych technologii.

Nie dotyczy

5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.

Raport dla SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System):

Koziol, K., Kallenborn, R., Xie, Z., Larose, C., Spolaor, A., Barbaro, E., Kavan, J., Kępski, D., Nikulina, A., Zawierucha, K., Pearce, D., Cockerton, L., Nawrot, A., Pawlak, F., Pakszys, P., & Cappelletti, D. (2023). Harmonising Environmental Research and Monitoring of Priority Pollutants and Impurities in the Svalbard Atmosphere (HERMOSA). W SESS report 2022 - The State of Environmental Science in Svalbard - an annual report (s. 78–115). Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, doi: 10.5281/zenodo.7406842. [**H20 w Załączniku nr 2]**

6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych.

Praca w ramach grupy eksperckiej AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) ds. trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO), opracowującej:

- Raport w postaci serii artykułów przeglądowych nt. *Local versus long-range sources of Persistent Organic Pollutants (POPs) and Contaminants of Emerging Arctic Concern (CEACs) in the Arctic*. Do tej pory opublikowano pracę (kolejna w przygotowaniu):

Muir D., Gunnarsdóttir, M.J., **Koziol, K.**, von Hippel, F.A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Ż., Krümmel, E., Vorkamp, K., **2025**. Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environmental Science: Advances*, 4, 355-408, doi: 10.1039/D4VA00240G. [**H16 w Załączniku nr 2**]

- Rola zarządzająca rozdziałem raportu (wraz z prof. R. Kallenbornem) w opracowaniu AMAP dotyczącym trendów czasowych w stężeniach zanieczyszczeń z grup POPs i CEACs w Arktyce – aktualizacja trendów względem opracowania z roku 2015 (prace w toku).

7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.

Nie dotyczy

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

1. Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny)

Sumaryczny Impact Factor = **186,858**

2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań

- Web of Science – **677** (578 bez autocytowań)
- Scopus – **710** (615 bez autocytowań)

3. Indeks Hirscha

- Web of Science – 16
- Scopus – 15
- Google Scholar – 17

Informacje zawarte w pkt. IV powinny wskazywać również na bazę danych, na podstawie której zostały podane. Przy wyborze tej bazy należy zwracać uwagę na specyfikę dziedziny i dyscypliny naukowej, w której kandydat ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Rada Doskonałości Naukowej informuje, że podawanie danych naukometrycznych – w opinii Rady Doskonałości Naukowej – jest wskazane i zalecane, wynika to także ze stosowanej powszechnie praktyki przez samych kandydatów ubiegających się o awans naukowy. Należy jednak podkreślić, że podane we wnioskach o wszczęcie postępowania awansowego dane naukometryczne nie mogą stanowić kryterium oceny dorobku naukowego Kandydata dla podmiotów doktoryzujących, habilitujących oraz samej Rady Doskonałości Naukowej, organów prowadzących postępowania w sprawie nadania stopnia lub tytułu. Zadaniem tych organów jest przede wszystkim ocena ekspercka dorobku naukowego Kandydata ubiegającego się o awans naukowy, zaś decyzja o nadaniu stopnia lub tytułu nie powinna być uzależniona od podania tych danych.

.....
(podpis wnioskodawcy)