

Iwona Niedźwiecka

*Analysis of mass, momentum and climate relevant gas fluxes across the sea surface
in the European Arctic*

*(Analiza strumieni masy, pędu oraz gazów istotnych dla klimatu przez powierzchnię morza
w Arktyce Europejskiej)*

Przedmiotem badań były interakcje jakie zachodzą w Arktyce Europejskiej pomiędzy komponentami systemu klimatycznego Ziemi, oraz skutki ich oddziaływania. Celem badań było oszacowanie wielkości strumieni wymiany przez powierzchnie morza, wraz z niepewnościami. Niepewność pomiaru jest to parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, który można w uzasadniony sposób przypisać do wielkości mierzonej. Rozprawa została oparta na danych pochodzących z projektu Greenhouse Gases Project.

Atmosfera i oceany stanowią sprzężony układ dynamiczny, w którym oddziałują na siebie poprzez strumienie wymiany energii i masy, przez powierzchnie morza. Strumienie te są najbardziej bezpośrednimi wskaźnikami wpływu oceanu na klimat i pogodę. Ich wartości średnie oraz zakres zmienności pokazują wielkość a także ekstrema tego wpływu, jak również obrazują w jaki sposób atmosfera wymusza zmiany w cyrkulacji oceanicznej. Strumienie pędu (naprężenie wiatru) napędzają cyrkulację oceaniczną tworząc wiry oceaniczne i systemy prądowe, które mogą redystrybuować ciepło w oceanie. Strumienie ciepła są główny mechanizmem w jaki ocean wpływa na atmosferę. Określenie natury i konsekwencji wymiany przez powierzchnię morza jest jednym z największych wyzwań w badaniach atmosferycznych i oceanicznych.

Prezentowana rozprawa składa się z trzech artykułów naukowych opisujących procesy wymiany przez powierzchnię rozdziału, w zespolonym systemie atmosfera-ocean:

- 1) Wrobel, I., and Piskozub, J. 2016. *Effect of gas-transfer velocity parameterization choice on air-sea CO₂ fluxes in the North Atlantic Ocean and the European Arctic*. Ocean Science, 12, 1091-1103, doi:10.5194/os-12-1091-2016
- 2) Wrobel, I. 2017. *Monthly dynamics of carbon dioxide exchange across the sea surface of the Arctic Ocean in response to changes in gas transfer velocity and partial pressure of CO₂ in 2010*. Oceanologia, 59, 445-459, doi:10.1016/j.oceano.2017.05.001.
- 3) Wrobel-Niedźwiecka, I., Drozdowska, V., Piskozub, J. 2019. *Effect of drag coefficient formula choice on wind stress climatology in the North Atlantic and the European Arctic*. Oceanologia, 61,291-299, doi:10.1016/j.oceano.2017.02.002.

Pierwszy manuskrypt skupia się na obliczeniach średnich prędkości wiatru w rejonach polarnych w celu przeanalizowania wpływu wybranej parametryzacji współczynnika prędkości wymiany gazowej (z ang. *gas transfer velocity* [k]) na wielkość strumienia dwutlenku węgla (CO₂) poprzez powierzchnię morza [F] wraz z obliczonymi średnimi rocznymi i miesięcznymi wielkościami strumieni. Ocean Arktycznym jest to region, gdzie formują się wody głębinowe cyrkulacji oceanicznej, w wyniku, czego w ciągu całego roku pełni on rolę biorcy nadmiaru dwutlenku węgla z atmosfery.

Współczynnik wymiany gazowej k określa tempo zmian i głównie zależy od prędkości wiatru. Selekcji parametryzacji dokonano na podstawie wyznaczania niepewności pomiarów wybranej parametryzacji. W literaturze obecnie funkcjonuje 5, wyznaczonych empirycznie, parametryzacji służących do obliczania szybkości wymiany gazowej, różniących się wykładnikiem prędkości wiatru. Zostały one wyznaczone na podstawie badań środowiskowych i laboratoryjnych na przestrzeni ostatniego 20-lecia. Trzy z nich bazują na kwadratowej zależności od prędkości wiatru, dwie na zależności sześcienniej. Wyniki

pomiarów wykazał, że niepewności wynikające z doboru współczynnika wymiany gazowej są mniejsze w rejonach Północnego Atlantyku i Arktyki Europejskiej aniżeli globalnie oraz są mniejsze dla kwadratowego wykładnika prędkości wiatru niż sześciennego. Dla rejonów Północnego Atlantyku i Arktyki Europejskiej wyliczone niepewności, wynikające z wyboru parametryzacji bazującej na kwadratowej zależności prędkości wiatru były rzędu 4 % - 5 % (9 % globalnie), podczas gdy wybór zależności sześcienną pokazywał wyniki rzędu 28 % - 46 %, w zależności od parametryzacji (33 % - 65 % globalnie). Mniejsze różnice w niepewnościach, w skali lokalnej, wynikały z wyższych średnich prędkości wiatru w rejonach Północnego Atlantyku oraz stały pobór CO₂ przez wody Płn. Atlantyk w trakcie całego roku.

Drugi manuskrypt prezentuje wyniki analiz średnich miesięcznych strumieni wymiany CO₂ przez powierzchnie wody, w zależności od zmiany dwóch składowych - ciśnienia parcjalego CO₂ w wodzie morskiej (pCO_{2w}) oraz współczynnikiem wymiany gazowej (k). Ciśnienie parcjalego określa ciśnienie jaki wywierałby dany składnik mieszaniny gazów, gdyby sam zajmował objętość całej mieszaniny, w zadanej temperaturze. W toku prowadzonych badań wykazano, że wpływ na średni miesięczny pobór CO₂ w Arktyce Europejskiej ma zmiana koncentracji pCO_{2w} w skali przestrzennej, podczas gdy w skali czasowej strumienie te są silnie skorelowane z współczynnikiem k .

Trzeci artykuł koncentruje się na obliczeniach pól wiatrów rzeczywisty w celu określenia wielkości strumieni wymiany pędu [τ] przez powierzchnię morza, w zależności od wybranej parametryzacji na obliczanie niewymiarowego współczynnika oporu (C_D). W wyniku dokonanych obliczeń wykazano, że im mniejsze prędkości wiatru, tym niepewności wynikająca z obliczeń wsp. oporu większe. Dla rejonów Oceanu Arktycznego wyliczone niepewności, wynikające z użytej formuły, były rzędu 36 % i są wyższe na obszarach o słabym wietrze.

Przeprowadzone badania wykazały spadek poboru dwutlenku węgla z atmosfery, przez zimne wody Oceanu Arktycznego, ukazały konieczność przeprowadzania szerokich, wieloaspektowych analiz w badaniach strumieni wymiany, jak również uwidocznily jak trudnym a zarazem ważnym rejonem badań, w badaniach klimatycznych, jest rejon polarny. Zmniejszanie marginesu błędu obliczeń tempa wymiany przez powierzchnię morza ukazuje jak szybko ocean jest w stanie odpowiedzieć na zmiany klimatu.