

dr hab. Agnieszka Herman, prof. UG
Instytut Oceanografii, Uniwersytet Gdański
Al. Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia
e-mail: oceagah@ug.edu.pl

Gdynia, 2 września 2019 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Iwony Niedźwieckiej
pt. „Analysis of mass, momentum and climate relevant gas fluxes across the sea
surface in the European Arctic”**

Struktura i ogólna problematyka pracy

Na przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską Pani mgr Iwony Niedźwieckiej składają się trzy opublikowane w latach 2016–2019 artykuły naukowe, jeden w czasopiśmie *Ocean Science* oraz dwa w czasopiśmie *Oceanologia**. Prace te stanowią zasadniczą część rozprawy, która ponadto zawiera krótkie, dziesięciostronicowe streszczenia w języku angielskim oraz polskim. Streszczenia te zawierają zwięzły wstęp do badanej tematyki, krótki opis wykorzystywanych danych i rejonu badań oraz podsumowanie otrzymanych wyników.

Doktorantka jest pierwszym autorem we wszystkich trzech artykułach (w jednym z nich autorem jedynym). Prace te zostały dotychczas cytowane 6 razy (w tym jedno autocytowanie).

Tematyka pracy dotyczy metod wyznaczania strumieni wymiany turbulentnej na granicy morza i atmosfery; dwa artykuły poświęcone są strumieniom wymiany dwutlenku węgla, jedna – strumieniom pędu. Jak Doktorantka słusznie podkreśla, strumienie te, podobnie jak pozostałe, nie analizowane w pracy (ciepła, wilgoc, aerozoli, itd.), są odpowiedzialne za interakcje pomiędzy dwoma głównymi komponentami klimatu Ziemi, czyli oceanem oraz atmosferą. Znajomość czasowej i przestrzennej zmienności strumieni w szerokim zakresie skal jest niezwykle istotna dla naszych możliwości zrozumienia oraz prognozowania systemu ocean–atmosfera jako całości, jak również poszczególnych jego elementów i wybranych procesów, zachodzących w powierzchniowej warstwie morza oraz w dolnej warstwie atmosfery. Ponieważ strumienie turbulentne na powierzchni morza są funkcją bardzo wielu powiązanych ze sobą czynników, takich jak prędkość wiatru, stabilność pionowa oceanu i atmosfery, spektralna charakterystyka falowania, procesy załamania fali, obecność zanieczyszczeń itd., ich

* W dalszej części tej recenzji, odwołania do tych artykułów będą oznaczane przez, odpowiednio, A1, A2 i A3.

wyznaczanie jest nietrywialne, a większość istniejących formuł wiążących istotne zmienne ma charakter czysto empiryczny – co powoduje, że formuły te mają zasięg stosowalności ograniczony do warunków, w których prowadzone były obserwacje. Co więcej, procesy turbulentnej wymiany masy i pędu są niezwykle trudne do bezpośredniego pomiaru. Wszystko to powoduje, że wykorzystywane w modelach numerycznych oceanu i atmosfery metody wyznaczania strumieni turbulentnych stanowią jedno z istotnych źródeł błędów. W wielu modelach współczynniki wymiany traktowane są jako współczynniki kalibracyjne, którymi można dowolnie manipulować dla uzyskania optymalnej jakości wyników (wyrażanej za pomocą zgodności pomiędzy modelowanymi i obserwowanymi „podstawowymi” zmiennymi, jak prędkość wiatru, temperatura, itp.). W podobny sposób traktowane są często „alternatywne” formuły do wyznaczania tych współczynników.

Ze wszystkich powyższych powodów, badanie czynników wpływających na strumienie turbulენტne na powierzchni morza oraz różnych metod ich wyznaczania jest niezwykle istotne dla poprawy jakości wyników modelowania oraz wiarygodności prognoz – zarówno w skali synoptycznej, jak i klimatycznej. Nie ulega więc wątpliwości, że tematyka, którą zajmuje się Doktorantka, jest bardzo istotna.

Artykuły składające się na rozprawę doktorską dotyczą w głównej mierze analizy porównawczej różnych, opisanych w literaturze i powszechnie stosowanych w modelach formuł do wyznaczania współczynników wymiany na granicy woda–powietrze. Jak wspomniano, dwa artykuły (A1 i A2) dotyczą procesów wymiany dwutlenku węgla, trzeci (A3) – wymiany pędu. W obu przypadkach analiza koncentruje się na zależności pomiędzy odpowiednim współczynnikiem wymiany a prędkością wiatru U_w . Wszystkie trzy artykuły bazują na tych samych źródłach danych oraz narzędziach do ich analizy (FluxEngine), co sprawia, że stanowią one spójną całość nie tylko od strony tematycznej, lecz również metodycznej. Ponadto, pomimo odniesień do analogicznych procesów w skali globalnej, we wszystkich trzech przypadkach Autorka skupia swoją uwagę na obszarze północnego Atlantyku i tzw. Arktyki Europejskiej.

W artykule A1 przeprowadzono analizę porównawczą siedmiu metod wyznaczania współczynnika wymiany gazowej k . Różnice pomiędzy tymi metodami zostały przeanalizowane ze względu na średnie roczne wartości strumieni CO_2 na badanym obszarze. Wyniki wskazują, że różnice tych wartości wyznaczone za pomocą pięciu różnych formuł, w których $k \sim U_w^2$, nie przekraczają kilku procent, natomiast osiągają kilkadziesiąt procent, jeżeli wykorzystywane są formuły, w których $k \sim U_w^3$. Ponadto, różnice te są we wszystkich przypadkach mniejsze na badanym obszarze niż w skali globalnej – w ostatniej części artykułu A1 Doktorantka przeprowadza krótką analizę możliwych przyczyn tego faktu.

W artykule A2, będącym kontynuacją A1, analiza dotyczy głównie zmienności sezonowej strumieni wymiany CO_2 oraz zmiennych, od których te strumienie zależą (współczynnik k

i ciśnienie parcjalne $p\text{CO}_2$ w wodzie i w powietrzu). Do bardzo cennych elementów tej pracy należy, moim zdaniem, analiza udziału poszczególnych zmiennych w całkowitej zmienności strumieni.

Artykuł A3, skonstruowany podobnie jak A1, dotyczy analizy porównawczej formuł opisujących zależność współczynnika tarcia C_D od prędkości wiatru U_w i różnic w otrzymywanych wartościach miesięcznych i rocznych strumieni pędu scałkowanych po badanym obszarze.

Zanim przejdę do oceny merytorycznych aspektów pracy, chciałabym zwrócić uwagę na jej aspekt językowy. Ponieważ główną część pracy stanowią opublikowane artykuły, które przeszły proces recenzji i korekty wydawniczej, liczba błędów jest tam oczywiście ograniczona (ale nadal jest ich tam sporo). Doktorantka uznała najwyraźniej, że tylko te artykuły są „ważne” i że streszczenia nikt nie będzie czytał – ani tego angielskiego, ani polskiego. Założenie to okazało się w moim przypadku błędne. Zaczęłam czytanie pracy od początku, czyli od wersji angielskiej, po dotarciu do drugiej strony doszłam jednak do wniosku, że to ponad moje siły, postanowiłam więc „przeskoczyć” do wersji polskiej, ale ta niestety okazała się niewiele lepsza... Dotyczy to nie tylko ogromnej wręcz liczby błędów stylistycznych, gramatycznych i interpunkcyjnych; niektóre zdania brzmią jak wygenerowane przez translator internetowy, np.: „Jednak, obliczenia te, pomimo wielu lata badań, nie są dotychczas znane analitycznie” (str. 15). Ogólnie, poza fragmentami, które pochodzą bezpośrednio z artykułów Doktorantki, cały tekst wydaje się chaotyczny i słabo przemyślany. Przykładowo, zdanie „Measurement uncertainty is a parameter related to the measurement result, characterizing the spread of values that can be reasonably attributed to the measured value” (str. 6), znajdujące się pomiędzy dwoma zdaniami definiującymi problemy poruszane w pracy, jest tak nie na miejscu, że postanowiłam mu się przyjrzeć bliżej – okazało się, że pochodzi ono (niemal dosłownie) z artykułu „On the meaning of measurement uncertainty”. (Dlaczego z wielu diskutowanych tam znaczeń określenia „niepewność pomiaru” Doktorantka postanowiła wybrać właśnie to i wstawić je do swojego tekstu akurat w tym miejscu?). Takich prawie dosłownych zapożyczeń jest w angielskim tekście streszczenia więcej[†].

Podsumowując, zamieszczone w rozprawie streszczenia nie sprawiają pozytywnego wrażenia i nie przyczyniają się do pozytywnego odbioru pracy jako całości.

[†] np. zdanie na str. 6 „The problem of properly describing air-sea fluxes is compound, and simplistic parameterizations are not satisfactory to represent the fluxes in models” versus „The problem of adequately describing air-sea fluxes is complex, and simplistic parameterizations are not sufficient to represent the fluxes in models.” (“zapożyczone” z <http://airsea.nuigalway.ie/cargese/introduction>)

Merytoryczna ocena pracy

1. Formułując główne problemy analizowane w pracy, Doktorantka pisze (str. 16): „Analiza wymiany gazowej ma na celu rozwiązanie dwóch problemów naukowych [...], oba zawarte są w poniższej pracy doktorskiej: pierwszy to określenie różnic koncentracji CO₂ na powierzchni morza, przy jednoczesnym ograniczeniu niepewności pomiaru. [...] Drugi problem dotyczy wyboru odpowiedniej formuły parametryzacji współczynnika *k*.” Po pierwsze, są to stwierdzenia bardzo nieprecyzyjne. O jakie różnice koncentracji chodzi? Różnica zawsze jest przecież wyznaczana pomiędzy jakimiś obiektami/wartościami. Chodzi o zróżnicowanie przestrzenne? Zmienność w czasie? I na czym ma polegać „ograniczenie niepewności pomiaru”? Po drugie – co ważniejsze – nie uważam, żeby artykuły składające się na rozprawę doktorską dotyczyły wszystkich wymienionych zagadnień. Autorka wyznacza strumienie korzystając z gotowej bazy danych i nie przeprowadza żadnej analizy jakości tych danych ani wpływu tej jakości na niepewność końcowych wyników. Podobne zastrzeżenia mam do słowa „odpowiedni” w drugim z cytowanych zdań. Doktorantka wyznacza współczynniki wymiany oraz strumienie różnymi metodami i stwierdza, że są pomiędzy nimi różnice, ale w artykułach nie ma porównania wyników z obserwacjami, które pozwoliłyby stwierdzić, że jedna formuła jest „lepsz” od innej, albo określić, w jakich warunkach/na jakich obszarach analizowane formuły dają wiarygodne wyniki. Żeby nie było wątpliwości: nie krytykuję tego, że tych zagadnień w pracy nie ma, ale to, że cele pracy są sformułowane nieadekwatnie do jej zawartości.
2. Z powyższą uwagą wiąże się kolejna. W artykule A2 znajdują się stwierdzenia: „the most accurate parameterization applied to the study region, which is Nightingale et al. (2000)” oraz “The *k* coefficient was estimated using the Nightingale et al. (2000) parameterization [...] which best fits the AO”. W obu przypadkach na poparcie tych stwierdzeń Autorka cytuje swój poprzedni artykuł, A1, w którym jednak mowa jedynie o tym, że różnice pomiędzy N2000 a pozostałymi parametryzacjami z $k \sim U_w^2$ są niewielkie. Skąd konkretnie wiadomo, że N2000 jest optymalna dla badanego obszaru? Albo w jakich warunkach jest ona optymalna?
3. Czy istnieje konkretny powód, dla którego Doktorantka przeprowadziła swoje analizy dla danych z roku 2010? Co wiadomo o zmienności międzyletniej badanych zmiennych i czy wnioski sformułowane na podstawie jednego roku można uznać za reprezentatywne dla innych okresów?
4. Bardzo istotne zastrzeżenie, jakie mam do przedstawionych we wszystkich trzech artykułach analiz, dotyczy wyznaczania średnich miesięcznych i rocznych współczynników wymiany oraz strumieni na podstawie średnich miesięcznych prędkości wiatru, ciśnienia parcjalnego i innych istotnych zmiennych. W obu przypadkach – zarówno strumienia CO₂, jak i strumienia pędu – strumień ten jest wyznaczany na podstawie nieliniowego wyrażenia, które można ogólnie zapisać jako: $F = \alpha U_w^n (x_{\text{water}} - x_{\text{air}})$. Wykorzystywane w pracy formuły

empiryczne zostały opracowane na podstawie obserwacji obejmujących krótkie okresy czasu i ze względu na wspomnianą nieliniowość mogą być stosowane tylko do porównywalnie krótkich okresów czasu. Jeśli oznaczymy przez $\langle \cdot \rangle$ średnią miesięczną (lub roczną), $\langle F \rangle = \langle \alpha U_w^n (x_{\text{water}} - x_{\text{air}}) \rangle \neq \alpha \langle U_w^n \rangle (\langle x_{\text{water}} \rangle - \langle x_{\text{air}} \rangle)$. Po pierwsze, U_w może być skorelowane z x_{water} i/lub x_{air} (jeżeli x oznacza prędkość wiatru, tak jak w przypadku strumienia pędu, korelacja jest oczywista; może być ona jednak niezerowa również w innych sytuacjach: przykładowo, na obszarach pokrytych lodem morskim, zarówno temperatura powietrza, jak i prędkość wiatru przy powierzchni są skorelowane z lokalną koncentracją lodu, a więc również ze sobą nawzajem, co jest istotne przy wyznaczaniu średnich strumieni ciepła). Po drugie, jeżeli $n \neq 1$, wówczas $\langle U_w^n \rangle \neq \langle U_w \rangle^n$, więc – nawet jeśli pominiemy wspomniane wyżej korelacje ze zmienną x – średni strumień $\langle F \rangle$ powinien być skorygowany przez pomnożenie go przez $\varepsilon = \langle U_w^n \rangle / \langle U_w \rangle^n$. Celowo użyłam tutaj oznaczenia (ε), jakiego używają też cytowani przez Doktorantkę Ho *et al.* (2006), wprowadzając odpowiednią poprawkę na zmienność prędkości wiatru, analogiczną do tej, jaką wcześniej wprowadzili Wanninkhof *et al.* (2004). W przypadku tych prac chodzi raczej o efekty krótkookresowej porywistości wiatru, ale źródło problemu jest dokładnie takie samo. Doktorantka nigdzie nie pisze „czarno na białym”, że prędkości wiatru są najpierw uśredniane do średnich miesięcznych lub rocznych, a dopiero z tych średnich wyznaczane są odpowiednie strumienie, ale wynika to pośrednio z opisu danych (gdzie mowa o „danych klimatologicznych” itd.) oraz z przedstawionych w artykułach wyników, gdzie sezonowa i przestrzenna zmienność strumieni jest „podejrzenie” mała. Dla sprawdzenia, czy nie piszę o efektach, których wpływ na wynik jest znikomy, policzyłam ε dla przypadkowych danych, jakie miałam do dyspozycji (z obszaru bardzo odległego od analizowanego przez Doktorantkę, mianowicie z Zatoki Gdańskiej, nie ma to jednak znaczenia), wyznaczając średnie miesięczne wartości ε na podstawie dobowych prędkości wiatru – wynik znajduje się w załączniku na końcu niniejszej recenzji. Jak widać, w analizowanym przypadku „poprawka” zmienia wynik o około 20% dla $n=2$ oraz około 60% dla $n=3$ oraz, co więcej, ma ona wyraźny cykl sezonowy, nie można jej więc sprowadzić do zwykłego przemnożenia wszystkich wartości przez stały współczynnik. Należy przypuszczać, że ε wykazuje też zmienność przestrzenną i np. w strefie pasatowej będzie inne niż w strefie umiarkowanej, gdzie wariancja prędkości wiatru w czasie jest znacznie wyższa. Należy też podkreślić, że podane wyżej wartości procentowe są znacznie wyższe niż np. otrzymane przez Doktorantkę różnice pomiędzy alternatywnymi formułami do wyznaczania współczynnika k . Są to więc efekty znaczące, a ich uwzględnienie może być istotniejsze niż np. wybór takiej czy innej formuły do wyznaczania k lub C_d . Mówiąc krótko, średnia roczna/miesięczna prędkość wiatru – jak np. ta pokazana na mapie z Rys. 2 w A3 – nie jest wystarczającą informacją do wyznaczenia średniej rocznej/miesięcznej wartości strumieni, a pojedyncze sztormy wnoszą znacznie więcej do średnich strumieni, niż wynikałoby to z tego, ile wnoszą

do średniej prędkości wiatru. Mam prośbę, żeby Doktorantka ustosunkowała się do tych zastrzeżeń. W szczególności:

- a. Czy rzeczywiście we wszystkich analizach przyjęto $\varepsilon = 1$ i czy była to decyzja świadoma? Jeśli tak, czym podyktowana?
 - b. Czy wiadomo coś (z literatury) o korelacji pomiędzy prędkością wiatru a $p\text{CO}_2$ i czy uzasadnione jest założenie, że wynosi ona zero? (Odpowiedź może oczywiście zależeć od skali czasowej, w jakiej korelacja będzie analizowana)
 - c. Na podstawie tego, co wiadomo o czasowej i przestrzennej zmienności prędkości wiatru na badanym obszarze, jakiej zmienności ε należy się spodziewać? Które z zaprezentowanych w pracy wyników są najbardziej „podatne” na tę poprawkę? (Nie oczekuję, oczywiście, że Doktorantka rzeczywiście wyznaczy ε dla wszystkich analizowanych miesięcy i punktów – chociaż na podstawie dostępnych obecnie danych wiatrowych jest to jak najbardziej wykonalne! – ale spodziewam się odpowiedzi „jakościowej” uzasadnionej ogólną wiedzą o pogodzie badanego obszaru.)
5. We wstępie do artykułu A2 Doktorantka dyskutuje wpływ lodu morskiego i zmian jego zasięgu na procesy wymiany ocean–atmosfera. Jako osoba zajmująca się lodem morskim zgadzam się w zupełności, że są to interakcje bardzo ciekawe, złożone i nadal słabo poznane. Nie do końca zgadzam się jedynie ze stwierdzeniem, że lód pierwszoroczny stanowi „słabszą barierę” („a weaker barrier”; str.447) pomiędzy morzem a atmosferą niż lód wieloletni. Jeżeli koncentracja lodu spada – oczywiście tak. Jednak to lód wieloletni, ze względu na to, że nie zawiera już solanki, a pozostałe po niej kanaliki ma wypełnione powietrzem, jest znacznie bardziej porowaty i ma wyższą przepuszczalność niż lód pierwszoroczny. Ponadto, w obu przypadkach, właściwości lodu bardzo silnie zależą od temperatury – co, w połączeniu z trendami temperatury związanymi ze zmianami klimatu, przyczynia się do omawianych przez Doktorantkę skomplikowanych zależności pomiędzy strumieniami i pozostałymi „komponentami” kształtującymi warstwę graniczne morza i atmosfery.
6. Kolejna uwaga nie jest krytyczna, stanowi raczej „zaproszenie” do dyskusji: prędkość wiatru otrzymywana z danych satelitarnych jest w rzeczywistości wyznaczana na podstawie bezpośrednio mierzonej wielkości, którą jest szorstkość powierzchni. Wymaga to oczywiście pewnych założeń o zależności pomiędzy tymi zmiennymi. Czy w zagadnieniach analizowanych przez Doktorantkę w artykule A3, dotyczących wymiany pędu między morzem a atmosferą, nie byłoby uzasadnione korzystanie bezpośrednio z szorstkości zamiast/oprócz prędkości wiatru?

Uwagi końcowe

Zgodnie z wymaganiami ustawowymi, stawianymi rozprawom doktorskim, prace te powinny „stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego [...] oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej”. Moim zdaniem, pomimo opisanych wyżej niedociągnięć, praca doktorska Pani mgr Iwony Niedźwieckiej spełnia te dwa kryteria. Uważam również, że otrzymane wyniki posiadają potencjał do dalszego ich wykorzystania w badaniach dotyczących wymiany gazów i pędu na granicy morza i atmosfery.

W świetle wszystkich powyższych argumentów stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Iwony Niedźwieckiej spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim (zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003., Dz. Ustaw nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) i stawiam wniosek o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Agnieszka Herman

Załącznik do pkt. 4 recenzji (wpływ uśredniania prędkości wiatru na wartość współczynnika wymiany)

Jak wspomniałam w głównym tekście, wpływ kolejności uśredniania na wartość współczynnika wymiany sprawdziłam na „przypadkowych” danych prędkości wiatru. Były to szeregi czasowe U_w (dobowe wartości z $n_t=8$ lat, 2010–2017) dla losowo wybranego punktu z centralnej części Zatoki Gdańskiej. Korekta $\varepsilon = \langle U_w^n \rangle / \langle U_w \rangle^n$ została wyznaczona dla każdego z $12n_t$ miesięcy, dla $n=2$ oraz $n=3$. Wykresy poniżej pokazują wartość średnią (linia ciągła), minimalną oraz maksymalną (linie przerywane) dla poszczególnych miesięcy roku:

