

Gdańsk, 29 kwietnia 2021 r.

Prof. dr hab. Jacek Piskozub
Instytut Oceanologii PAN
ul. Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot
email: piskozub@iopan.gda.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Marty Aleksandry Wenty

pt.: „Modelowanie numeryczne i obserwacje warstwy
granicznej atmosfery nad lodem morskim”

Badanie turbulentnych strumieni ciepła czy pędu przechodzących przez powierzchnię otwartego morza jest zagadnieniem niełatwym ze względu na skomplikowaną naturę procesów nimi rządzących i trudność porównywania pomiarów robionych w różnych warunkach (głębokość akwenu, długość rozbiegu wiatru nad morzem itp.). Zadanie którego podjęła się w swojej pracy doktorskiej mgr Marta Wenta, czyli badanie tychże strumieni nad szczelinami w lodzie i morzem częściowo pokrytym lodem jest wręcz karkołomne, ze względu na dodatkową warstwę komplikacji związaną z wpływem zróżnicowania kształtu i wielkości kry, a także wzajemnego położenia szczelin na wielkość strumieni turbulentnych. Wiem o tym bo nie dość, że sam zajmowałem się strumieniami turbulentnymi ocean atmosfera ale dodatkowo jeszcze brałem udział w części atmosferycznej dużego europejskiego programu badań arktycznych DAMOCLES. Miałem w nim inne zadania ale z fascynacją słuchałem referatów moich kolegów (niektóre z nich zamieniły się potem w prace cytowane w recenzowanym doktoracie), rozumiejąc coraz lepiej, że tego problemu nie rozwiążemy w ramach programu DAMOCLES, i pewnie w ogóle nie w najbliższych latach. Mimo dokonanych wtedy postępów, nie rozwiązano go do dziś i dlatego już na wstępie mojej opinii mogę śmiało powiedzieć, że recenzowana rozprawa składa się z prac nowatorskich w skali światowej, próbujących rozszerzyć obszar naszej wiedzy o tym niezwykle złożonym zagadnieniu.

Recenzowana praca składa się z czterech artykułów opublikowanych w latach 2018-2021 w czasopiśmie indeksowanych w najważniejszych bazach danych (Web of Science, Scopus). Dla przykładu w Web of Science (tzw. lista filadelfijska), w ostatnim rocznym notowaniu miały one wartości Impact Factor (IF) odpowiednio: 2,318 dla Annals of Glaciology, 2,046 dla Atmosphere, 4,509 dla Remote Sensing oraz 9,197 dla Earth System Science Data. Wprawdzie sam IF bez kontekstu niewiele mówi (a kontekst jest taki że jako wielokrotny autor i recenzent prac do Remote Sensing uważam jego IF za nieco zawyżony w stosunku do innych czasopism o podobnej renomie, a prace publikowane w Earth System Science Data cytowane są tak licznie głównie ze względu na przydatność danych naukowych do nich dołączanych) to jednak są to wszystko czasopisma bez wątplenia renomowane. Trudno zresztą abym twierdził inaczej będąc redaktorem naczelnym Oceanologii o IF wynoszącym 2,198.

Dla porządku wymienię te cztery prace, do których dalej będę odnosił się jedynie używając ich numeru, zgodnego z kolejnością chronologiczną użytą w pracy:

1. Wenta, M., & Herman, A. (2018). The influence of the spatial distribution of leads and ice floes on the atmospheric boundary layer over fragmented sea ice. *Annals of Glaciology*, 59(76pt2), 213-230. doi:10.1017/aog.2018.15
2. Wenta, M. & Herman, A. (2019). Area-averaged surface moisture flux over fragmented sea ice: floe size distribution effects and the associated convection structure within the atmospheric boundary layer. *Atmosphere*, 10, 654. doi:10.3390/atmos10110654
3. Wenta, M. & Cassano, J.J (2020). The atmospheric boundary layer and surface conditions during katabatic wind events over the Terra Nova Bay Polynya. *Remote Sens.*, 12, 4160. doi:10.3390/rs12244160
4. Wenta, M., Brus, D., Doulgeris, K., Vakkari, V., and Herman, A. (2021). Winter atmospheric boundary layer observations over sea ice in the coastal zone of the Bay of Bothnia (Baltic Sea), *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 33-42. doi:10.5194/essd-13-33-2021

We wszystkich czterech artykułach doktorantka była pierwszą autorką, co jest sytuacją wręcz zalecaną w przypadku prac mających stanowić części pracy doktorskiej. Każdy z nich ma co najmniej dwóch autorów, ostatni z nich, najbardziej skomplikowany technicznie, ma pięciu (we wszystkich z wyjątkiem pracy #3 promotorka jest jednym z autorów). Wszyscy współautorzy podpisali oświadczenia o swoim udziale (poniżej 20% lub nawet mniej), opisując swój wkład. Brakuje mi jednak stwierdzenia samej doktorantki jaki był jej udział w pracach stanowiących recenzowaną rozprawę. Nie jest to oczywiście nieusuwalna wada, gdyż obrona pracy doktorskiej będzie świetną okazją do opisanego własnego wkładu mgr Wenty, podczas autoreferatu lub odpowiedzi na recenzje. Nie kwestionuję że był on równie duży jak wynikałoby z oświadczeń współautorów (lub nawet większy, bo należy się spodziewać że większość autorów raczej przecenia niż nie docenia własnego wkładu w pracę) ale dobrze byłoby usłyszeć od samej zainteresowanej jaką część prac wykonała osobiście.

Praca doktorska składająca się z artykułów jest, zależnie od tego jakie recenzent ma ambicje albo bardzo łatwa albo bardzo trudna do recenzowania. Łatwa bo można napisać, że błędy wykryli w niej wcześniej recenzenci artykułów i zostały one już poprawione lub trudna gdy próbuje się znaleźć coś co poprzednicy przeoczyli. Czy mi się to ostatnie udało, okaże się poniżej. Zanim do tego jednak dojdę, odniosę się do dwujęzycznego wstępu (nawiasem mówiąc po angielski niesłusznie nazywanego Abstract raczej niż Summary). Czy jest on integralną i ocenianą częścią pracy jest kwestią dyskusyjną (zarówno stara jak i nowa ustawa wymaga go ale jednocześnie określa pracę tego typu jako „zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych”, a streszczenie się jedynie „dołącza” do rozprawy). Jednak na pewno jest on przydatny do zrozumienia kontekstu i wzajemnej relacji artykułów naukowych wchodzących w jej skład. W recenzowanej pracy doktorantka świetnie wykorzystała tę okazję, tłumacząc także co było celem pracy i co z tego dało się osiągnąć (do czego jeszcze wrócę). Chciałbym jednak odpochwalić to szczerze i bardzo zgodne z etyką naukową podejście do prezentacji wyników naukowych.

Streszczenie rozprawy jest napisane bardzo dobrze w obu językach. Zauważyłem jedynie bardzo niewielkie pomyłki jak użycie słowa Figure w polskiej wersji (skutek uboczny decyzji powtórzenia tych samych rysunków w obu wersjach) oraz jednego błędu gdzie niepotrzebna kropka w wersji angielskiej (str 15. zaraz za wyłuszczonej słowami „Publications 1 and 2”) rozbiła ważne zdanie o tym jak trudne jest zbieranie danych w warunkach polarnych na tyle, że aby je zrozumieć musiałem porównać je z wersją polską. Swoją drogą umieszczenie w Streszczeniu rysunków, czyli dodatkowych danych nie prezentowanych we właściwej części doktoratu, jest też pomysłem wychodzącym nieco poza klasyczne ramy gatunku. Jednak chyba było warto tak zrobić gdyż profile temperatury i wilgotności z Rysunku 4, umieszczone właśnie w tym miejscu, być może dlatego, że nie są łatwo wytłumaczalne i dlatego nie pojawiły się w artykule #3, nie dają mi spokoju ile razy o

nich pomyśle: też chciałbym wiedzieć co było przyczyną powstania tego typu serii bardzo płytkich inwersji atmosferycznych, jakiej nie widziałem w żadnej innej pracy. Przy okazji omawiania Streszczenia dodam, że spis literatury zamieszczony na końcu rozprawy dotyczy jak rozumiem właśnie jego i został od odsunięty na koniec pracy tylko z przyczyn, które nazwałbym estetyczno-historycznymi. Jeśli się myślę proszę mnie poprawić podczas odpowiedzi na recenzje.

Dwa pierwsze artykuły recenzowanej pracy doktorskiej dotyczą modelowania przy pomocy modelu WRF warstwy granicznej atmosfery nad zestawem szczelin lodowych lub morzem częściowo pokrytym krą. Celem ich było zbadanie (w pierwszym artykule) i zaproponowanie ulepszonej parametryzacji wymiany ciepła i pędu nad morzem częściowo pokrytym lodem (w drugim). Jak już wspominałem jest to niezwykle skomplikowane zagadnienie i dotychczasowe najlepsze przybliżenie to dodawanie strumieni z poszczególnych typów powierzchni (woda, różne rodzaje lodu) z wagą odpowiadającą ich względnym powierzchniom. Zaproponował to 26 lat temu bardzo ostrożny fiński meteorolog Timo Vihma i mimo dużych wysiłków jego i innych badaczy (między innymi podczas wspomnianego projektu DAMOCLES) niewiele więcej od tego czasu osiągnięto. Widziałem co prawda na jednej z konferencji propozycję zaproponowania nieliniowych funkcji wagowych dla przypadków znacznego pokrycia lodem, ale nie wydaje mi się aby zamieniła się ona w recenzowany artykuł. Zasadniczo model „mozaikowy” Vihmy jest nadal traktowany jako najlepsze przybliżenie i praca #2, będąca częścią recenzowanej rozprawy jest, o ile wiem, pierwszą opublikowaną propozycją stworzenia istotnie lepszej parametryzacji, co samo w sobie jest znaczącym osiągnięciem. Uznanie tej parametryzacji przez środowisko wymagałoby jeszcze potwierdzenia przy pomocy danych empirycznych ale to właśnie stanowi największy problem tej dziedziny wiedzy. Takich danych, jak na razie, po prostu nie ma.

Prace te tłumaczą poprawnie, choć nieco skomplikowanie dlaczego model mozaikowy jest jedynie zgrubnym przybliżeniem, dodam jednak własne, chyba prostsze wyjaśnienie. Każda szczelina w lodzie powoduje ogrzanie i nawilgocenie powietrza nad nią, a przy niezerowym wietrze także za nią, w kierunku wiatru. Gdy taka masa powietrza napotyka kolejną szczelinę, różnice temperatury i wilgotności między atmosferą a wodą morską są przez to zmniejszone (dla powierzchni wody przyjmujemy wilgotność 100%), co musi powodować zmniejszenie turbulentnych strumieni ciepła. Szczeliny zatem wzajemnie „przeszkadzają” sobie w oddawaniu ciepła wyczuwalnego i utajonego do atmosfery i chociaż dokładna analiza trójwymiarowa może tę konkluzję nieco zmodyfikować ilościowo, to jakościowy opis tego jest dość oczywisty. Ta sama przyczyna musi powodować, że jak wskazują wyniki wielu, chociaż nie wszystkich, badań modelowych (recenzowana praca dostarcza ich dobrego przeglądu), szersze szczeliny nie są tak efektywne w oddawaniu ciepła na jednostkę powierzchni jak wąskie. I właśnie tą nieliniowość zjawiska próbuje uwzględnić doktorantka w pracy #2 stosując bardzo ciekawy i zaawansowany sposób modelowania pokrycia morza krą różnej wielkości.

Mimo, że oba te artykuły są bardzo dobrze napisane i już wcześniej recenzowane, znalazłem jednak kilka kwestii polemicznych, o które chciałbym zapytać doktorantkę na obronie:

- Nie jest dla mnie jasne czy sama autorka uważa stosowaną przez siebie konfigurację modelu WRM za „large eddy simulation” (LES). Określenie z artykułu #1 „as in the WRM LES mode” rozumiem jako stwierdzenie, że nie użyto takiej konfiguracji, ale może to tylko potknięcie językowe? Z kolei w artykule #2 w Tabeli A1 podany jest stosowany typ LES „1.5-order TKE scheme”. Czyli jednak była to „large eddy simulation”? Jest to pytanie nietrywialne bo w literaturze przedmiotu często nie uważa się WRM z parametryzacją TKE za ten typ najbardziej szczegółowego modelowania turbulencji w atmosferze (np. Mirocha i inni 2010, doi:10.1175/2010MWR3286.1). Porównanie "klasycznego" modelu LES (OU-LES) i WRF-LES w pracy Gibbs i Fedorovich, 2013,

(doi:10.1175/JAMC-D-13-033.1) pokazuje zresztą iż WRF w tej konfiguracji nie daje wyników równie dobrych jak „prawdziwy” zdaniem autorów model LES. Chciałbym zatem usłyszeć zdanie doktorantki o tej różnicy, czyli wadach i zaletach modelu WRM w takim zastosowaniu i o przyczynach wyboru właśnie jego.

- Doktorantka w pracy #2 stosuje teorię podobieństwa Monina-Obuchowa, klasyczne rozwiązanie ruchu płynu (co w tej dziedzinie fizyki oznacza także powietrze!) w pobliżu twardej granicy, takiej jak powierzchnia morza czy lodu. Działa ona bardzo dobrze w warunkach niestabilnej atmosfery (czyli mówiąc językiem oceanografów bez stratyfikacji) ale od kilku dziesięcioleci trwa debata nad stosowalnością tej teorii dla stabilnej atmosfery. Wiem o tym, bo sam musiałem bronić własnych artykułów przed tym zarzutem. Jednak w warunkach polarnych warstwa graniczna atmosfery jest praktycznie zawsze stabilna, a zdaniem niektórych znacznie ogranicza to stosowanie tej teorii w takich warunkach (np. Pahlow i inni, 2001, doi:10.1023/A:1018909000098, czy Kumar i Sharan, 2012, doi:10.1175/JAS-D-11-0250.1). Oczywiście atmosfera nie może być stabilna nad samymi szczelinami w lodzie ale to powoduje kolejną trudność bo teoria Monina-Obuchowa jest wyprowadzona oczywiście dla jednowymiarowego modelu atmosfery, tzn. bez zmienności w poziomie. Jestem bardzo ciekaw jak doktorantka obroni ten wybór i nie uważam wcale, że jest na straconej pozycji, bo wiem że zdania w tej kwestii nadal są podzielone.

Z mniejszych problemów w tych artykułach wymieniałbym brak jednostek np. we wzorach (9) i (10) w artykule #2. Wiem, że ma to długą tradycję w tej dziedzinie ale pochodzi to z czasów gdy wszyscy używali systemu cgi. Teraz gdy normą jest SI, nigdy nie wiadomo np., we wzorze występują centymetry czy metry (a czasami, jak w przypadku wielkości cząstek aerozolu, mikrometry, zaś rozbiegu wiatru kilometry). Znowu mówię z własnego bolesnego doświadczenia, bo będąc współautorem prac porównującej różne parametryzacje strumieni ocean-atmosfera wiem, że czasami bardzo trudno ustalić jest w jakich jednostkach tworzono występujące w oryginalnych artykułach wzory. W dodatku dodanie jednostek od razu ujawni jak okropne jest wstawianie do wzoru promienia kry pod pierwiastkiem kwadratowym, bez podzielenia tego promienia przez inną wielkość o wymiarze długości (nie ma bowiem w fizyce czegoś takiego jak pierwiastek z metra).

Wydaje mi się także, że stwierdzenie ze wstępu artykułu #2, że woda w szczelinach między krą jest zwykle tylko nieco cieplejsza niż punkt zamarzania nie może być ściśle prawdziwe. Współistnienie fazy stałej i ciekłej wody wymaga dokładnie temperatury zamarzania, szczególnie gdy lód nie topnieje jak w przypadkach modelowanych (oczywiście zależy to od wielkości szczeliny bo w pewnej odległości od lodu może być ona już rzeczywiście nieco cieplejsza w wyniku konwekcji w wodzie).

Uważam też za błąd nie dołączenie do przedstawionej pracy materiałów dodatkowych („suplementu”) artykułu #1. Zawiera on dodatkowy tekst oraz ponad 20 rysunków do których praca ta się odnosi, a niezamieszczenie jej w treści rozprawy doktorskiej powoduje, że recenzent powinien uważać ten materiał za nieistniejący. A szkoda.

Kolejne dwie prace nie dotyczą teorii, a raczej czystej empirii i to w również na najbardziej nowoczesnym poziomie. Dotyczą one pomiarów własności warstwy granicznej atmosfery przy pomocy między innymi dronów (autonomicznych platform latających). W pracy #3 użyto istniejących, publicznie dostępnych danych zebranych w czasie kampanii pomiarowej z 2012 nad połynią (obszarem wolnym od lodu) Zatoki Terra Nova na Antarktydzie. Praca #4 przedstawia wyniki ambitnej kampanii polsko-fińskiej zorganizowanej w ramach projektu NCN związanego z recenzowanym doktoratem na północy Zatoki Botnickiej tuż przed początkiem pandemii w 2020

roku. Jak wynika z komentarza w Streszczeniu artykuł #3 był w pewnym sensie przygotowaniem do własnych badań tego typu, a artykuł #4 opisuje wstępną ich próbę.

Artykuł #3, najdłuższy z czterech stanowiących recenzowaną rozprawę, z współautorem którym był John J. Cassano z Uniwersytetu Colorado w Boulder (znanego centrum badań atmosferycznych) ma oczywiście znaczenie wykraczające poza przygotowanie do własnych pomiarów. Inaczej nie udało by się go opublikować. Analizuje on praktycznie dzień po dniu ośmiodniową kampanię pomiarową w trakcie której wielkość połyni dramatycznie się zmieniała w wyniku zmieniających się warunków synoptycznych, porównując wyniki pomiarów z meteorologicznej stacji brzegowej i dronów oraz wyniki modelowania. W konkluzji autorzy (prof. Cassano brał udział w redakcji treści pracy) dowodzą wpływu słabej znajomości rozkładu lodu (małej rozdzielczości przestrzennej i czasowej) na błędy modelowania parametrów warstwy granicznej w atmosferze. Analiza jest zasadniczo poprawna ale mam wrażenie, że nie do końca pokazano czy za część tych błędów nie odpowiada sam model. Problemem jest tu, jak zwykle w wypadku tego typu kampanii pomiarowych, krótkość serii danych. W gruncie rzeczy trzeba się cieszyć, że dane z tego typu kampanii w ogóle istnieją ale jest ich na razie mało i przez to nadal trudno o bardzo twarde konkluzje.

Przy okazji pochwalę tu doktorantkę za zauważenie w pracy, że terminu „wiatry kababatyczne” używa ona nie dosłownie bo w ich definicji powinny być one spowodowane spływem z gór mas powietrza wychłodzonych radiacyjnie, a w pracy nie wykazano, że tak zawsze było. Piszę to w kontekście niedawnego odkrycia, w którym sam uczestniczyłem, że wiatry na Spitsbergenie uważane powszechnie za katabatyczne są zasadniczo typu bryzowego, czyli ich siłą napędową jest różnica temperatur między lądem a morzem (Kitowska i inni, 2021, doi:10.1002/joc.6731). Nie mają one oczywiście cyklu dziennego (raczej roczny). W przeszłości stosowano też termin „bryza lodowa” (ice breeze) dla wiatrów między lodem a połynią także dla badanej połyni (Gallée, 1997, doi:10.1029/96JD03098), jednak w tym wypadku mowa o zjawisku o większej skali, wręcz mezoskalowym. Podejrzewam, że również te „wiatry katabatyczne” Zatoki Terra Nova mogłyby istnieć nawet bez obecności gór, a jedynie dzięki różnicy temperatury między otwartym morzem, a lądem pokrytym lodem. Nie zmienia to oczywiście w niczym konkluzji omawianego artykułu.

I w tym artykule znalazłem (niewielki) błąd, który przeoczyli poprzedni recenzenci. Na Rysunku 8b prędkość wiatru błędnie oznaczona jest jako temperatura w stopniach Celsjusza.

Ostatni artykuł z serii stanowiącej rozprawę (#4) opublikowany został w czasopiśmie poświęconym seriom danych pomiarowych. Jest on efektem kampanii pomiarowej, przeprowadzonej na przełomie lutego i marca na fińskiej wyspie Hailuoto na północy Zatoki Botnickiej. W kampanii przeprowadzonej w ramach projektu NCN związanego z powstaniem doktoratu (kierownikiem jest promotorka) zastosowano dwa drony należące do UG, stację meteorologiczną oraz lidar dopplerowski. W sumie był to zestaw godny zazdroszczenia, szczególnie z perspektywy wszystkich kampanii pomiarowych (także międzynarodowych) w jakich uczestniczyłem. Współautorzy, oprócz promotorki, odpowiedzialni byli właśnie za dane z części instrumentów i, jak rozumiem, pomoc w „uzbrojeniu” dronów pomiarowych. Kampania pomiarowa zakończyła się pełnym powodzeniem logistyczno-technicznym co samo w sobie jest nietrywialnym sukcesem. Jednak naukowo, w kontekście recenzowanej pracy doktorskiej problemem był... brak szczelin lodowych co uniemożliwiło weryfikację parametryzacji zaproponowanej w artykule #2. Jest to jednak ryzyko nierozzerwalnie związane z tego typem kampanii pomiarowej i trudno traktować zastane warunki meteorologiczne jako jako winę doktorantki, promotorki lub kogokolwiek innego (choć po angielsku tego typu problemy nazywają się w terminologii morskiej „acts of God”). Powstała w wyniku kampanii seria danych może być przydatna do innych analiz, tak jak dane z kampanii z 2012 roku z Zatoki Terra Nova przydatne były mgr Wencie.

Podsumowując, w czterech opublikowanych artykułach naukowych, w których doktorantka była wiodącym autorem, udało jej się stworzyć przy pomocy modelowania warstwy granicznej atmosfery nad morzem pokrytym częściowo lodem, nową ulepszoną parametryzację strumieni wymiany ciepła i pędu oraz zorganizować i wypróbować nad morzem pokrytym lodem metodę weryfikacji doświadczalnej swojej parametryzacji. Moim zdaniem nie ma żadnej wątpliwości, że praca ta spełnia kryteria wymagane dla doktoratu. Oczywiście nie jest to zakończeniem procesu ulepszania parametryzacji strumieni morze-atmosfera w strefie granicznej lodu morskiego ale realistycznie nie spodziewałbym się aby zakończył się on w najbliższych latach. Trzeba będzie jeszcze wielu kampanii pomiarowych i znacznie więcej danych aby można było mówić o rzeczywistej weryfikacji. Jednak doktorantka, w recenzowanej pracy doktorskiej, poczyniła pierwszy duży krok w tym kierunku.

Może nieco bardziej kontrowersyjna może się wydawać kwestia czy należy tę pracę wyróżnić. Czy nie zabrakło jednej kampanii nad lodem ze szczelinami i opublikowanego artykułu z jej wynikami? Zgadzam się, że byłaby to idealna sytuacja. Jednak odwaga naukowa w zaproponowaniu zupełnie nowej parametryzacji opartej o własne badania modelowe oraz zorganizowanie kampanii próbującej tę parametryzację zweryfikować moim zdaniem stawiają niniejszą pracę znacznie powyżej poziomu wymaganego dla pracy doktorskiej i sprawiają, że zasługuje ona na wyróżnienie. Jako argumenty mogę podać niezaprzeczalne nowatorstwo w skali światowej i skale ambicji naukowej jaka wyróżnia badania w recenzowanej pracy.

To stwierdziwszy, mogę przejść do oficjalnej konkluzji:

Rozprawa przedstawiona do recenzji spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w świetle obowiązujących przepisów. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy. Jako uzasadnienie proponuję podkreślony fragment akapitu powyżej.

Na zakończenie chciałbym życzyć mgr Marcie Wencie dalszych sukcesów w prowadzonych badaniach i karierze zawodowej.

Z poważaniem

J. Piskozub