

Gdańsk, 16 sierpnia 2024 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 Aleksandry Cupiał

pt.: „Warunki meteorologiczne nad Morzem Bałtyckim powodujące
ekstremalne falowanie wiatrowe w Zatoce Gdańskiej”

Praca doktorska mgr Aleksandry Cupiał jest efektem kompleksowego przebadania wyników modelowania falowania na Morzu Bałtyckim dla 44 lat (1958-2001) przeprowadzonego w ramach europejskiego projektu HIPOCAS między innymi przez promotora pracy. Wyniki te opublikowano w kilku pracach, w tym Cieślíkiewicz i Paplińska-Swerpel¹ (2008). Doktorantka wykorzystała te dane do analizy warunków meteorologicznych wywołujących sztormy z największym falowaniem na zatoce Puckiej oraz pozostałej części Zatoki Gdańskiej. Użyła w tym celu metody Empirycznych Funkcji Ortogonalnych (o angielskim skrócie EOF) dla przebadania pola ciśnień, wiatrów i falowania dla całego okresu, dla jakiego miała dane oraz dla wybranych 34 sztormów z największą wysokością fali znacznej w pięciu stacjach reprezentujących badany obszar.

Praca ma formę klasycznej „monografii” (wstęp / dane / metody / wyniki / podsumowanie), dziś już rzadko spotykaną, gdyż dominują prace będące seria opublikowanych artykułów. Autorka opisuje dokładnie wyniki każdej analizy niezależnie od tego jak „publikowalne” są jej wyniki, co byłoby trudne w przypadku pisania artykułu naukowego. Należy tu zauważyć, że najważniejsze wyniki tych analiz zostały już opublikowane przez w Oceanologii, czasopiśmie którego jestem redaktorem naczelnym (Cieślíkiewicz i Cupiał², 2024). Praca doktorska pozwala jednak na przedstawienie

1 Cieślíkiewicz W., Paplińska-Swerpel B. (2008). A 44-year hindcast of wind wave fields over the Baltic Sea. *Coastal Engineering*, 55, 894-905, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.02.017>

2 Cieślíkiewicz W., Cupiał A. (2024). Long-term statistics of atmospheric conditions over the Baltic Sea and meteorological features related to wind wave extremes in the Gulf of Gdańsk. *Oceanologia*, 66(2), 180-195, <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.10.002>

większej ilości wyników niż artykuł, także takich które nie dają szansy na wyciągnięcie z nich „odkrywczych” konkluzji, a jednak mogą się przydać innym badaczom w przyszłości. Nie widzę zatem problemu w tego typu „dwuetapowej” publikacji wyników, a nawet dostrzegam jej zalety. O możliwym sposobie jeszcze szerszego udostępnienia wyników przedstawionych badań, wspomnę jeszcze pod koniec recenzji.

Wcześniej jednak, omówię kolejno rozdziały pracy, zaczynając od Wstępu. Jest on dość rozbudowany jak na tego typu rozdział, zawierając między innymi opisy warunków klimatycznych Bałtyku, charakterystyki sztormów na tym morzu oraz zastosowania ortogonalnych funkcji empirycznych w naukach o Ziemi. Podrozdziałów tych logicznie należałoby się spodziewać w dwóch następnych rozdziałach, ale narracja ocenianego rozdziału jest płynna i dlatego nie uważam tego za wadę pracy. Jest on dobrze napisany i zawiera moim zdaniem jedynie drobne wady:

- Na stronie 33 jedno zdanie rozjechało się autorce: „negatywna anomalia ciśnienia generuje silny gradient ciśnienia wzdłuż równoleżnika 36–48°N”. Nie zrozumiałem tego i musiałem sprawdzić w cytowanym obok artykule. Powinno być „generuje gradient południkowy ciśnienia pomiędzy równoleżnikami 36 i 48 °N” (Natomiast użycie słowa „negatywny” tam gdzie ja powiedziałbym „ujemny” jest elementem ewolucji języka naukowego: wszyscy młodzi naukowcy tam mówią. Podobnie razi mnie „w lecie” zamiast „latem” ale pada w doktoracie szczęśliwie tylko raz).

- Nie polecam natomiast stosowania słowa „cyklon” w znaczeniu „niż”. Taką manierę wprowadzili nasi dziennikarze, którzy nieumiejętnie tłumaczą terminologię angielskojęzyczną. Tradycyjnie jednak termin „cyklon” (bez żadnego przymiotnika) stosowany jest w Polsce na określenie huraganów tropikalnych na części Oceanu Indyjskiego³.

Kolejny rozdział zatytułowany jest „Dane i obszar badawczy”. Ten rozdział także dobrze się czyta i uważam go za poprawnie napisany (z małymi wyjątkami, które zaraz bezlitośnie wyliczę). Można by się jedynie zastanowić czy opis modelu WAM nie pasowałby raczej do rozdziału o metodach, ale autorka sprytnie użyła go do przedstawienia wzorów, za pomocą których liczone były parametry falowania. Dlatego ogólnie nie mam zastrzeżeń, ale...

- Przedstawienie wzorów kończy się na równaniu zachowania działania falowego (2.7), które wywołało u mnie wrażenie niedosytu. Po co go w ogóle przedstawiać, jeśli nie jest dalej użyte? A jeśli jest potrzebne jako fundament modelu WAM to czy nie powinno być lepiej opisane? Jeśli już się go przedstawiło, to może warto było wspomnieć dlaczego używa się równania zachowania

³ Patrz np. opracowanie IMGW pt. “Słownik tematyczny terminów, wyrażeń i zwrotów stosowanych w prognozach meteorologicznych”, dostępny w kilku wersjach w Internecie.

działania, a nie gęstości energii falowej. Także opisy wielkości w tym równaniu pozostawiają nieco do życzenia. Symbol prędkości spektralnej nie jest wyjaśniony w tekście, a jedynie w spisie symboli, a człon D/σ jest inaczej opisany w obu tych miejscach i w obu nie najlepiej. Nie wytłumaczono np. czemu w ogóle ma on taka formę, szczególnie że D jest też funkcją częstotliwości właściwej σ . Mówiąc prościej, ta część teoretyczna jest albo za krótka albo za długa.

- Na stronie 55 autorka pisze „Parametry całkowite, będące parametrami wyjściowymi, obliczone zostały w każdym punkcie siatki obliczeniowej znajdującym się nad obszarem wodnym”. Forma bierna nie pozwala stwierdzić, czy zrobili to autorzy modelowania WAM z projektu HIPOCAS czy sama doktorantka. Miejsce gdzie to opisano (nie w Wynikach) sugeruje to pierwsze, ale możliwe że to osiągnięcie autorki, którym się nie pochwaliła. Mam nadzieję, że wyjaśni to ona na obronie.

- W ogólnie bardzo dobrym opisie obszaru badawczego pada stwierdzenie „W czasie surowych zim część lub cała Zatoka Gdańska może być pokryta lodem morskim (Majewski, 1987), przeważnie w początkowych postaciach lodu lub w formie kry (Stanisławczyk, 2005).” Jest to bez wątpienia prawda i ostatni raz zdarzyło się to, według mojej wiedzy, w lutym 2011 roku. Jednak też jednak oczywiście, że w coraz cieplejszym Bałtyku zdarza się to rzadziej i to właśnie zdanie uświadomiło mi, że nigdzie w pracy doktorskiej nie jest wspomniana postępująca zmiana klimatu i jej możliwy wpływ na badane zjawiska, pomimo cytowania wielu prac, które badały właśnie te procesy (łącznie z drugim raportem BACC, w którym to skrócie CC oznacza oczywiście „climate change”). Rozumiem, że autorka nie potrzebowała zmiany klimatu jako hipotezy (podobnie jak Laplace, który oświadczył Napoleonowi, że nie potrzebuje Boga jako hipotezy) ale czy nie warto było omówić w dyskusji wyników możliwego wpływu zmiany klimatu na trendy badanych wielkości? Do tego wątku wrócę przy omawianiu wyników pracy.

Wcześniej jednak omówię ostatni rozdział „teoretyczny”, a mianowicie „Metody”. Jest on bardzo krótki, zaledwie 3-stronicowy co wynika zapewne z opisanie części metod w poprzednich rozdziałach. Wymienia on pokrótce używane wielkości statystyczne, opisuje metodę empirycznych funkcji ortogonalnych i stosowane oprogramowanie. Nie mam tu żadnych zastrzeżeń ale zadam pytanie natury nieco filozoficznej:

- Dlaczego oprócz stosowanych w pracy miar statystycznych (cytuję) „średniej, maksimum, odchylenia standardowego oraz percentyli 90, 95, 99 i w kilku wypadkach: 99.9” nie zastosować także mediany? Zdaję sobie sprawę, że celem pracy jest badanie zjawisk ekstremalnych (sztormów). Jednak te zjawiska wpływają bardzo mocno na średnie siły wiatru czy wysokości fali. Zatem czy nie byłoby użyteczne zobaczyć jak wygląda typowy stan morza i atmosfery poza sztormami? Mediana, czy jak kto woli „percentyl 50”, mogłaby być moim

zdaniem dobrą miarą typowej sytuacji poza sztormami, lepszą niż średnia. Jestem ciekaw zdania autorki.

Kolejny rozdział, stanowiący około 2/3 całej pracy doktorskiej to Wyniki. Opisane są w nim rezultaty wszystkich przeprowadzonych analiz (o ich ilości świadczy liczba 69 rysunków i 24 tabel tylko w tym rozdziale), niezależnie od tego jak istotne konkluzje z nich wynikały. Uważam to za zaletę, gdyż wyników tego typu zwykle nie widać w artykułach naukowych, a jednak każdy kto pracuje nad podobnymi zagadnieniami zyska na ich poznaniu, choćby nie musząc powtarzać takich samych analiz (tzw. wynik ujemny). Nie oznacza to, że nie było ciekawych i istotnych wyników, takich jak ustalenie, że za największe sztormy na Zatoce Puckiej i otwartej części Zatoki Gdańskiej odpowiadają niższe o odmiennych trajektoriach i stwierdzenie znaczenia trajektorii NW → SE dla tych drugich. Już teraz (spoiler!) stwierdzę, że moim zdaniem wyniki te, zarówno jakościowo jak i ilościowo spełniają ustawowe kryterium „oryginalnego rozwiązania problemu naukowego”. Poniżej dodam kilka szczegółowych uwag (zarówno pozytywnych jak i krytycznych), jednak te drugie (nawet znalezienie czegoś co uważam za błąd obliczeniowy) nie zmieniają mojej ogólnie pozytywnej opinii o wynikach pracy.

- Za szczególnie cenny wynik pracy uważam Rys. 4.52, przedstawiający trajektorie 34 niżów, które wywołały największe falowanie na Zatoce Gdańskiej (w tym Puckiej) w badanym okresie, efekt pracochłonnego ręcznego śledzenia centrum niżu na kolejnych codziennych mapach synoptycznych. Jest to bardzo cenne uaktualnienie wcześniejszych wyników innych autorów, w dodatku pochodzące z bardzo szeroko zakrojonego przebadania wszystkich sztormów z ponad 40 lat. Wykazuje on dobitnie znaczenie trajektorii NW → SE dla sztormów o największych falach na otwartej części zatoki i niżów o trasie równoleżnikowej (W → E) dla Zatoki Puckiej.

- Wynik ten możliwy był dzięki znalezieniu wspomnianych wyżej 34 największych sztormów, których lista z datami zamieszczona jest w Tabeli 4.15. Jest to również bardzo cenny materiał badawczy dla naukowców zajmujących się sztormowością na naszych wodach. W rozdziale tym znajduje się też analiza tych sztormów z podziałem na grupy. Może szkoda, że autorka nie połączyła tych sztormów z medialnymi wiadomościami o ich skutkach, bo byłoby to bardzo ciekawe. Sam w ciągu paru minut ustaliłem, że sztorm #13 ze stycznia 1983 zalał Wyspę Nowakowską na Żuławach i o mało nie przerwał Półwyspu Helskiego, sztorm #16 z października 1986 spowodował rekordowe wiatry na szeregu stacji w głębi Polski (np. w Kaliszu) oraz... zniszczył namiot Cyrku Radzieckiego przy ul. Targowej w Warszawie, sztorm #26 ze stycznia 1993 zatopił prom Heweliusz, a sztorm #31 z początku grudnia 1999 przewrócił olbrzymie suwnice stoczniowe w Danii oraz w Gdyni.

- Właściwie już na podstawie tej listy można by zaryzykować tezę o tym, że największe fale na otwartej części Zatoki występują przy wiatrach z kierunków północnych wywołanych niżami nadchodzącymi z kierunku NW, a na Zatoce Puckiej przy wiatrach zachodnich dla niżów nadchodzących z zachodu. Potwierdzają to Rys. 4.41 (mapy z wysokością falki znacznej) oraz 4.45 (rozkłady częstotliwościowe kierunku propagacji falowania), a także wyniki analizy empirycznych funkcji ortogonalnych. Czyli w sumie wynik ten osiągnięto na cztery sposoby, co sprawia, że jest on bardzo wiarygodny, a jednocześnie pokazuje ilość wykonanej przez autorkę pracy.

- Dla mnie, szczególnie ciekawą częścią przedstawionych wyników jest związek badanych zjawisk z indeksem NAO (Oscylacja Północnoatlantycka). W pracy zawarta jest analiza związku uzyskanych empirycznych funkcji ortogonalnych (EOF) pól ciśnienia atmosferycznego i indeksów wieloskalowej cyrkulacji atmosferycznej, w tym dwoma różnymi indeksami NAO. Moim zdaniem żadna z uzyskanych głównych składowych (PC) nie jest silnie związana z NAO w skali roku. Np. PC2 koreluje się z nim istotnie w dwóch miesiącach, a antykoreluje w dwóch innych. Wynika to moim zdaniem ze zbyt małej skali przestrzennej badanego obszaru (zasadniczo Morza Bałtyckiego), do czego jeszcze wrócę.

- Natomiast brakuje mi analizy związków uzyskanych wyników z NAO w funkcji czasu. Trendy siły wiatru zgodne z trendami NAO (wzrost do lat 1990-ch i późniejszy spadek) omawiane są na stronie 126 ale bez powiązania z tym indeksem. Na przykład wydaje mi się oczywiste na podstawie wizualnej inspekcji rysunków z pracy, że przebiegi czasowe wysokości fali znacznej dla punktów na Zatoce Gdańskiej (Rys. 4.14), czy składowe główne PC1 i PC2 anomalii prędkości wiatru (Rys. 4.32) są mocno pod wpływem indeksu NAO, co zresztą byłoby zgodne z wcześniejszymi pracami innych autorów. Natomiast percentyl 99 (Rys 4.15) ma w końcowej części wykresu (około roku 2000) trend dodatni, odwrotnie niż NAO, ale taki sam jak trend temperatury, co może świadczyć o bezpośrednim wpływie globalnego ocieplenia na wysokość fali na Zatoce Gdańskiej. Zdaję sobie sprawę, że długość ciągu czasowego (ok. 40 lat) to za mało aby oddzielić wpływ globalnego ocieplenia i indeksu NAO, który ma naturalną zmienność w skali wielodekadowej (a w dodatku jest istotnie pozytywnie skorelowany z temperaturą globalną). Jednak to nie recenzent powinien przeprowadzać taką analizę⁴.

- Przy okazji trendów, wspomnę, że istnieją autorytety twierdzące, że na mapach czy tabelach nie należy ukrywać trendów „nieistotnych statystycznie”. Test istotności statystycznej trendu jest w istocie testem czy jest on statystycznie różny od zera. Jednak prawdziwy trend ma prawo być dowolnie mały, a nawet zerowy i to też jest istotna informacja. Moim zdaniem tego typu

4 W artykule Cieślakiewicz i Cupiał (2024) omawiającym te same wyniki, NAO wymienione jest tylko raz mimochodem i to z błędem w skrócie (jako NOA), za co niestety i ja ponoszę odpowiedzialność jako redaktor naczelny Oceanologii.

„wykluczenie” ma sens jedynie gdy się szuka skutków np. globalnego ocieplenia. Ewidentnie nie to jest celem autorki i dlatego trend zerowy powinien być dla niej równie dobrym wynikiem jak każdy inny.

- Mam także pewne uwagi o znaczeniu fizycznym empirycznych funkcji ortogonalnych. Autorka przeprowadza poprawną dyskusję problemów z tym związanych na str. 49 ale moim zdaniem nie ustrzeżę się moim zdaniem przed wpadnięciem w tę pułapkę. Pierwsza empiryczna funkcja ortogonalna to wzorzec (przestrzenny lub czasowy) tłumaczący największą zmienność w danych. Można się spodziewać, że może on mieć łatwy do wyjaśnienia sens fizyczny. Jednak kolejne funkcje są pewnym konstruktem matematycznym: kolejnymi funkcjami wyjaśniającymi jak najwięcej pozostałej zmienności ale prostopadłymi (nie skorelowanymi) do poprzednich. To powoduje, że czasami są to po prostu „resztki” zmienności bez żadnego sensu fizycznego. Na przykład EOF3 funkcji anomalii prędkości wiatrów (str. 120), który jest ich konwergencją (czyli odpowiednikiem niżu) ale.. nie obraca się jak niż (patrz Rys. 4.31c). Moim zdaniem jest to po prostu artefakt matematyczny.

- Nawet wtedy gdy uzyskane empiryczne funkcje ortogonalne nie są oczywistym artefaktem, nie mają one tak oczywistego sensu fizycznego jak np. NAO, który jest indeksem cyrkulacji strefowej. Dodatkowo i ujemne wartości NAO (także składowej głównej podobnej analizy ale dla całego rejonu Północnego Atlantyku) oznaczają zupełnie różne cyrkulacje i zupełnie inne wiatry/ciśnienia/opady/temperatury i nie zmieniają się póki nie zmieni się całkowicie sytuacja synoptyczna, zwykle po paru tygodniach. Natomiast EOF-y uzyskane w tej pracy potrafią zmieniać znak dwa razy podczas tego samego sztormu, co powoduje że ich sens fizyczny jest rodzaju znacznie bardziej ulotnego.

- Autorka pisze na stronie 113, że „Niektórzy autorzy wskazują na to, że lokalne indeksy cyrkulacji mogą lepiej oddawać cyrkulację danego regionu niż wielkoskalowe indeksy atmosferyczne” i dlatego preferuje liczenie EOF-ów z mniejszych domen. Nie mogę się z tym do końca zgodzić. Przyczyna takiej czy innej cyrkulacji nie jest lokalna i dlatego indeks NAO łapie ją lepiej niż lokalny indeks. Zmniejszając domenę dojdzie się w końcu do sytuacji gdy będą istnieć tylko dwie ortogonalne funkcje empiryczne: wiatr strefowy i południkowy (i będą one wyjaśniały 100% zmienności). W ten sposób wrócimy do analiz cyrkulacji z czasów przedkomputerowych co niestety nie będzie postępem. Dlatego też argument o wyjaśnianiu większej części zmienności przez EOF-y z mniejszej domeny uważam za dość trywialny i wcale nie koniecznie za zaletę mniejszych domen.

- Wszystkie powyższe uwagi są natury polemicznej. Jednak znalazłem też jeden gruby błąd obliczeniowy (bo pomimo głębszego przemyślenia, nie widzę czym innym może on być). Mówię o wynikach podrozdziału 4.5.3, na temat zmienności EOF1 pola ciśnień w sensie probabilistycznym.

Na wstępie wspomnę, że autorka używa w pracy jako jednostek ciśnienia zarówno mbar jak i hPa, chociaż są one liczbowo identyczne. W tym rozdziale używa jednak po prostu paskali (Pa), co jest bardzo nietypowe dla meteorologii. Dlatego nie od razu zauważyłem, że anomalie ciśnienia są tu podejrzanie duże, aż nie przeczytałem o „anomali 50 000 Pa” (str. 181). Jest to 500 hPa, czyli połowa ciśnienia atmosferycznego. Najniższe ciśnienie zmierzone na poziomie morza kiedykolwiek, wewnątrz tajfunu Tip z 1979 roku to 870 hPa (czyli anomalia rzędu -130 hPa). W pobliżu polskiego wybrzeża, podczas niżów, nie ma anomalii większych niż -50 hPa (patrz np. Fig. 4 i 5 w pracy Cieślakiewicz i Cupiał, 2024). Czy zatem chodzi jedynie o błąd w jednostce (10-krotne zawyżenie)? Chyba nie bo na Rys. 4.65 mamy niezerowe prawdopodobieństwa ujemnych anomalii grubo przekraczających -100 000 Pa (-1000 hPa), czyli ciśnień... mniejszych niż próżnia. Coś tu poszło nie tak i mam nadzieję, że doktorantka wyjaśni co. Gdybym miał zgadywać, to powiedziałbym, że ciśnienia przemnożono niepotrzebnie przez czynnik rzędu 30. Dodam jednak, że błąd ten nie wpływa na żadne konkluzje pracy, a zatem nie powinien moim zdaniem wpływać także na jej ocenę.

Mam jeszcze kilka drobniejszych (zasadniczo redakcyjnych) uwag do tego rozdziału, do których autorka nie musi się odnosić na obronie o ile się z nimi zgadza (dlatego zapisuję je kursywą):

- *podawanie wartości kierunków wiatru (albo ich obrotu) w radianach jest bardzo nieintuicyjne dla naukowców z dziedziny nauk o Ziemi, pomimo że radian jest jednostką SI, dlatego na przyszłość proponowałbym pozostanie przy stopniach,*
- *autorka podaje wartość zerową kierunków anomalii prędkości wiatru zapisana jest jako liczba zespolona i dlatego zero oznacza kierunek wschodni – jest to tak niezgodne z konwencją zera jako północy, że powinno być napisane znacznie wcześniej niż na stronie 181,*
- *Rysunki 4.46 i 4.47 „dla wybranych sztormów” powinny wymieniać jakich [na to też nie trzeba odpowiadać bo nikt na obronie nie będzie wiedział co oznaczają ich numery],*
- *liczby sztormów dla danego percentyla (tabela 4.13) są tak podobne dla każdej stacji ponieważ percentyl dyktuje liczbę godzin sztormowych, a sztormy na każdej stacji są najwyraźniej podobnej długości, co powoduje moim zdaniem że jest to wynik dość trywialny.*

Pracę kończy rozdział „Podsumowanie i wnioski”. Pisałem już wyżej, że zasadniczo zgadzam się z wnioskami z pracy, a nie ma sensu ich wyliczać. Wspomnę więc jedynie o jednym, który wydaje mi się trywialny:

- *„spójne charakterystyki zjawisk sztormowych sprawiają, że pierwsze wzorce, zarówno dla anomalii ciśnienia jak i wiatru, wyjaśniają większy procent wariancji niż kolejne wzorce*

wyznaczone na podstawie całego badanego okresu” (str. 196). Wydaje mi się, że jest tak z definicji. Chyba, że coś tu przeoczyłem (różne okresy?).

Ogólnie, stwierdzam że praca napisana jest poprawnym językiem (liczba literówek jest prawdopodobnie mniejsza niż w niniejszej recenzji) i zarówno metodologia jak i analiza wyników są dokonane poprawnie. Liczne ilustracje są wykonane wręcz wzorcowo. Moje negatywne uwagi są natury drobnej i/lub polemicznej z jednym wyjątkiem błędu liczbowego w analizie ciśnień, lecz nawet on nie wpływa na konkluzje pracy. O jej olbrzymiej pracowitości już wspominałem. Wyniki zawierają znacznie więcej informacji potencjalnie przydatnych dla innych badaczy niż sprzedano w opublikowanej już pracy z Oceanologii. Dlatego proponowałbym doktorantce i promotorowi rozważenie dodatkowej publikacji w czasopiśmie typu Earth System Science Data, gdzie celem publikacji jest podzielenie się ze środowiskiem cennym zestawem danych, w tym wypadku wynikami wykonanych analiz.

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.

Na zakończenie chciałbym tradycyjnie życzyć mgr Aleksandrze Cupiał dalszych sukcesów w prowadzonych badaniach i karierze zawodowej.

Z poważaniem