

Dr. hab. Maciej Dłużewski, prof. UW
Katedra Geografii Fizycznej
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Uniwersytet Warszawski
ul. Krakowskie Przedmieście 30
00-927 WARSZAWA

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Patryka Sapięgi
Aplikacja systemu modeli do prognozowania falowania i jego skutków
w obszarze południowego Bałtyku**

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. Patryka Sapięgi, przygotowanej w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Tamara Zalewska, przygotowałem na podstawie uchwały Rady IMGW-PIB Nr 36/2025/XI z dnia 11 marca 2025 r., podjętej w związku z wnioskiem Pana mgr. Patryka Sapięgi z dnia 20 stycznia 2025 roku o wszczęcie postępowania o nadanie stopnia doktora, na mocy której zostałem wyznaczony na recenzenta w przewodzie doktorskim.

Rozprawa doktorska przedstawiona do recenzji składa się z **części wprowadzającej** zawierającej 4 rozdziały (31 str.) oraz **zbioru trzech artykułów**, z których dwa opublikowane zostały w 2023 a jeden w 2024 roku.

Artykuły wchodzące w skład rozprawy:

1. Sapięga P., Zalewska T., & Struzik P. (2023). Application of SWAN model for wave forecasting in the southern Baltic Sea supplemented with measurement and satellite data. *Environmental Modelling & Software*, 163, 105624

Wkład doktoranta oceniony został na 60%.

2. Sapięga P., Zalewska T., & Bochenek B. (2023). The applicability of ALARO and AROME wind-fields in multi-scale waves forecasting in open sea and coastal areas of the southern Baltic Sea. *Ocean Engineering*, 287, 116050.

Wkład doktoranta oceniony został na 60%.

3. Sapięga P., Zalewska T. (2024). Application of the high-resolution wave model for forecasting 1D sediment transport and beach inundation as a component of a short-term storm warning system. *Environmental Modelling & Software*, 106089

Wkład doktoranta oceniony został na 70%. Tu zaznaczyć należy, iż oświadczenia obydwu autorów tego artykułu nie w pełni zgadzają się z danymi publikacji wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego (inna data publikacji, nr czasopisma, nr artykułu, nr doi). W oświadczeniu podano, iż publikacja ukazała się w 2023 r. a artykuł został złożony do druku 6.04.2024r?

Warto podkreślić, iż we wszystkich artykułach wchodzących w skład rozprawy Doktorant jest pierwszym autorem. Wszystkie artykuły opublikowano w czasopismach o wysokiej renomie międzynarodowej (IF ok. 5) uznanych za bardzo dobre również przez MEiN (140 pkt. każdy).

W części wprowadzającej rozprawy Doktorant przedstawił tezę i cele rozprawy, opis i wyniki badań stanowiących podstawę rozprawy, w tym wdrożenie i walidację modelu SWAN na obszarze Bałtyku, optymalizację i parametryzację modelu falowania z wykorzystaniem pól wiatrowych ALARO i AROME

oraz aplikację wysokorozdzielczego modelu falowania do prognozowania 1D transportu osadów i zasięgu nabiegania fali na brzeg jako elementu krótkoterminowego systemu ostrzegania przed zagrożeniami sztormowymi. Część tą kończą rozdziały: 3 omawiający aspekt aplikacyjny wyników badań oraz 4 zawierający wnioski. Przytoczony przez Doktoranta spis literatury zawiera łącznie 49 pozycji (włącznie z internetowymi). **Choć zasadniczo przedmiotem oceny są tworzące rozprawę artykuły to szkoda, iż autor nie pokusił się o przygotowanie rozdziału będącego przeglądem stanu badań w zakresie tematycznym rozprawy.**

Ocena problemu badawczego

Problemem badawczym dla całości rozprawy, wspólnym dla trzech artykułów, jest oryginalne rozwiązanie wykorzystania modelowania wieloskalowego poprzez sprzężenie modelu SWAN z asymilowanymi modelami meteorologicznymi COSMO i modeli z rodziny ALADIN w wytypowanej, podczas optymalizacji, parametryzacji fizyki ST6 do prognozowania warunków falowych w południowym Bałtyku oraz skutków sztormów w obszarze polskiego wybrzeża. Głównym celem rozprawy doktorskiej jest zgodnie ze słowami Autora „opracowanie uniwersalnego systemu narzędzi wiarygodnego prognozowania warunków falowych i ich potencjalnych skutków w obszarze Morza Bałtyckiego”. **Ten główny cel jest realizowany we wszystkich artykułach wchodzących w skład rozprawy i jako recenzent nie mam wątpliwości odnośnie do powiązania celu pracy z warunkiem „oryginalnego rozwiązania problemu naukowego”, przewidzianym dla rozpraw doktorskich.**

Cel nadrzędny osiągnięty został w wyniku realizacji 5 celów szczegółowych. **O ile 4 pierwsze nie budzą moich zastrzeżeń jeśli chodzi o ich wykonalność, to cel nr 5 (zawarty również w końcowej części celu głównego) jest trudny do osiągnięcia, głównie ze względu na bardzo duże zróżnicowanie i zmienność czynników, które mają wpływ na końcowy rezultat, czyli prognozę skutków sztormów.** Doktorant deklaruje bowiem, iż „narzędzia umożliwiające prognozowanie skutków sztormów, tj. transport osadu i zasięg zalewanego brzegu” uwzględniać będą ukształtowanie dna morskiego oraz wybrzeża. O ile dno Morza Bałtyckiego jest dość stabilne, to morfologia wybrzeża, zarówno strefy przybrzeża jak i nadbrzeża (w przypadku piaszczystego wybrzeża południowego Morza Bałtyckiego) jest bardzo zróżnicowana i zmienna, nawet w bardzo krótkim czasie (dni a nawet godzin). Warto również zaznaczyć, iż dynamika ta poza wieloma „stałymi/znanyymi czynnikami” takimi jak reżim wiatru czy wielkość falowania od wielu lat będącymi „podmiotem” modeli meteorologicznych/hydrologicznych, jest zależna w dużej mierze także od czynników „zmiennych/nieczęsto używanych w modelach” jak przebieg wybrzeża czy lateralna i/lub wertykalna zmienność położenia rew. W przypadku wybrzeży piaszczystych południowego Bałtyku zmiana przebiegu linii brzegowej nawet o kilkanaście stopni, przy dominującym w tym regionie kierunku wiatru z sektora zachodniego może różnicować wpływ tego czynnika w tym samym czasie: będzie on inny dla wiatru skośnego odmorskiego w danej części wybrzeża niż dla wiatru wzdłużbrzegowego w innej jego części, w której przebieg wybrzeża jest bardziej równoleżnikowy. W warunkach naturalnych wpływa to m. in. na lokalizację rew, wysokość plaży, a przede wszystkim jej szerokość, która uwarunkowana jest położeniem I (najmłodszego) wału wydmy przednich, a którego dynamika rozwoju zależna jest od kąta natarcia wiatru na brzeg. Są to czynniki w istotny sposób wpływające na uzyskany wynik i weryfikację modelu/prognozy, i zostały w tej recenzji przytoczone nie jako krytyka osiągnięcia naukowego, lecz jako wskazanie złożoności problemu, z którym musiał się mierzyć Doktorant. **Autor rozprawy bez wątpienia udowodnił, że zna problematykę modelowania w różnej skali, potrafi zweryfikować i krytycznie ocenić poprawność uzyskanych wyników i zarekomendować odpowiednim instytucjom najlepsze modele, które Jego zdaniem powinny zostać wdrożone w praktyce.**

Uwagi do zestawu artykułów

W ocenianych artykułach do osiągnięcia postawionego w rozprawie celu połączono modele falowania z modelami meteorologicznymi. W ramach przeprowadzonej weryfikacji zgodności wyników uzyskanych z połączonych modeli z danymi pomiarowymi i satelitarnymi dokonano wyboru optymalnej fizyki. Następnie stosując wybraną fizykę wdrożono układy modeli falowania oraz modeli z rodziny ALADIN z odpowiednim dla danego obszaru zestawem parametrów. Walidację prognoz generowanych z użyciem danego układu modeli wykorzystujących różne układy parametryzacji wykonano poprzez porównanie wyników z danymi pomiarowymi dla wybranych odcinków wybrzeża oraz wyniki uzyskane z innych modeli. Tu zawsze nasuwa się pytanie, czy – co do zasady – walidacja nowego modelu może być wykonana na podstawie wyników pozyskanych z innego modelu? Aby uzyskać prognozę dla danego obszaru wdrożono układy modeli falowania-wiatru w różnej rozdzielczości w zależności od lokalizacji obszaru i celu danej prognozy.

W ostatnim etapie prac Doktoranta (ostatnim artykule) wyniki uzyskane na podstawie tej procedury wykorzystano w modelach pozwalających na prognozowanie skutków sztormów rozumianych przez Doktoranta jako: **1) zasięg zalewanego brzegu, 2) wielkość transportowanego osadu**. Z obowiązku recenzenta wypada odnotować fakt, iż skutki sztormów mogą być analizowane w różnym aspekcie przez specjalistów z różnych dziedzin, ponieważ ekosystem zwłaszcza strefy nadbrzeża jest szczególnie wrażliwy na ekstremalne zdarzenia sztormowe. Choć rozumiem wybór Doktoranta, warto by odnieść się choćby w kilku, nawet ogólnych zdaniach, w jakich dziedzinach, poza wspomnianymi powyżej, można by wykorzystać uzyskane przez Doktoranta prognozy.

Odnosnie do punktu pierwszego powszechnie wiadomo, iż **zasięg zalewanego brzegu** piaszczystego mórz bezpływowych zależy przede wszystkim od: **1) energii fali sztormowej nacierającej na brzeg** zależnej przede wszystkim od: i) parametrów fali, w szczególności parametrów fali znacznej, ii) kierunku nabiegania fali na brzeg, iii) morfologii strefy przybrzeża, w szczególności liczby, wysokości i położenia rew w trakcie danego zdarzenia sztormowego, **2) poziomu morza** zależnego od: i) kierunku i prędkości dominującego wiatru, ii) czasu trwania danego kierunku wiatru, **3) morfologii plaży**, w tym: i) wysokości, ii) nachylenia i iii) szerokości plaży, która w przypadku odcinków naturalnych zależy od lokalizacji I (najmłodszego) wału wydmy przedniej oraz stopnia wykształcenie (szerokości i wysokości) rampy eolicznej, zależnego w uproszczeniu od czasu, jaki wystąpił pomiędzy kolejnymi sztormami. W artykule nr 3 Doktorant skoncentrował się głównie na parametrach zawartych w punkcie pierwszym (i tu nawet nie wszystkich) pomijając znaczną część parametrów zawartych w punktach 2 i 3. Być może Doktorant świadomie uznał, iż na tym poziomie uogólnienia nie wpłyną one w znaczący sposób na walidację modelu, choć moim zdaniem niektóre z nich mogą mieć kluczowy wpływ na wynik końcowy, a zatem mogą być ciekawym punktem przyszłej dyskusji i przyszłych prac badawczych dotyczących modelowania zasięgu zalewanego brzegu. Warto tu także podkreślić brak weryfikacji uzyskanych prognoz dla wybrzeży naturalnych, w minimalnym stopniu poddanych antropopresji. Znaczną część weryfikacji wykonano na odcinkach wybrzeża poddanych silnej działalności człowieka, jak choćby na odcinku T4 (Ustka) i T5 (Łeba), gdzie morfologia i dynamika strefy brzegowej uwarunkowane są występowaniem sztucznej rafy, ostróg, falochronów portowych i refulacją. Drugą bardzo istotną kwestią jest weryfikacja zasięgu zalewanego brzegu (plaży) poprzez parametr „wave run-up”. W przypadku piaszczystych wybrzeży naturalnych, na zapleczu których występują wydmy przednie, podczas analizowanych przez Doktoranta sztormów (art. 3, tab. 3) zasięg zalewu falowego plaży wynosił zawsze 100% jej szerokości, a zatem jego wielkość zależna była od szerokości plaży uwarunkowanej położeniem I wału wydmy przednich. W odcinkach wybrzeża o niskiej antropopresji (np. km 199 wybrzeża), w których plaża jest bardzo szeroka, zasięg zalewu podczas sztormu może wynosić nawet ponad 100 m przy wysokości zalewu falowego („wave run up”?) ok 1.5 m n.p.m. Być może zatem Doktorant do weryfikacji modelu świadomie wybrał wybrzeża poddane silnej

antropopresji, choć z moich wieloletnich obserwacji skutków sztormów w obszarach T4 i T5 prawie zawsze dochodziło do erozji wydmy przedniej, co oznacza 100% zalew plaży. Jest to niewątpliwie zagadnienie do dyskusji, a być może do uzupełnienia wygenerowanego modelu o dodatkowy/e parametr/y. W związku z powyższym budzi również zdziwienie niewielki dystans zalewu falowego podany na stronie 9, paragraf 3.1: „*The relatively flat relief of the beach zone in the central part of the coast allow waves to arrive at a distance of over 4 m from the point of mean sea level*”.

Odnosnie do punktu drugiego predykcja wielkości transportowanego osadu zależna jest między innymi od wielkości materiału znajdującego się na przybrzeżu? Analizując tabelę nr 2 (artykuł nr 3) trzeba mieć na uwadze, iż w sedimentologii, w rozkładzie uziarnienia osadu, symbolami d_{50} i d_{90} oznacza się odpowiednio percentyl 50 (mediana) i percentyl 90, podczas gdy w tekście te symbole oznaczają odpowiednio „average grain” i „medium grain”. Co Doktorant rozumie pod tymi pojęciami? W tabeli 2 próbka piasku dla lokalizacji Lubiatowo zawiera prawie 90% frakcji piasku drobnego i niespełna 10% piasku średniego, a d_{50} określono jako „medium sand”? Nie jest też jasne, jak/jaką metodą Doktorant pobierał próbki, i z jakiej formy dna (rewy, obniżenia między rewami, strefy zmywu). Oczywiście jest bowiem częste występowanie bardzo dużego zróżnicowania frakcjonalnego osadów reprezentujących różne formy dna występujące na przybrzeżu. Nie jest też jasne, czy we wszystkich badanych odcinkach wybrzeża próbki pobierane były z tej samej formy. Może się bowiem zdarzyć tak, iż różnica w uziarnieniu osadów pomiędzy formami w danej lokalizacji jest większa niż różnica składu mechanicznego osadów pomiędzy poszczególnymi lokalizacjami.

Z punktu widzenia przyszłego Beneficjenta, trzeci, podsumowujący artykuł, który miał na celu wprowadzenie narzędzia prognozującego skutki sztormów, budzi zatem najwięcej moich wątpliwości.

Podsumowując, zestaw ocenianych trzech artykułów jest komplementarny, a problematyka zawarta w artykułach stanowi spójną całość. Spełnia on zatem warunek bycia jednotematycznym cyklem publikacji stawianym w ustawie rozprawom doktorskim, a łącznikiem między artykułami – oprócz tematu i miejsca – jest także podejście metodyczne bazujące na modelowaniu matematycznym w różnej skali. Duża liczba wygenerowanych i prawidłowo zweryfikowanych modeli pozwala na ogólną jednoznacznie pozytywną ocenę publikacji wchodzących w skład rozprawy. Tu należy jeszcze raz podkreślić, iż Doktorant był w każdym artykule pierwszym Autorem, a jego deklarowany udział był zawsze większy niż 60%. **Oba fakty świadczą bezsprzecznie na korzyść Doktoranta, dlatego nie mam zastrzeżeń do dzieła autorskiego i uważam, iż spełnia ono kryteria określone dla rozpraw doktorskich.**

Podsumowanie

Rozprawę doktorską mgr. Patryka Sapięgi oceniam pozytywnie, a wskazane w recenzji kwestie są przede wszystkim materiałem do dyskusji. Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Patryka Sapięgi świadczy o dojrzałości naukowej Autora i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuje do Rady Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Warszawa, 07 lipca 2025 r.

/Maciej Dłużewski/