

Streszczenie do rozprawy doktorskiej na temat:
„Wpływ zmian klimatu na charakterystyki falowania w południowej części Bałtyku i jego skutki dla polskiej strefy brzegowej”

Głównym celem pracy było określenie za pomocą modeli statystyczno-empirycznych relacji pomiędzy wielkoskalowym polem wymuszenia (regionalne pole ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza nad Europą i Północnym Atlantykiem, SLP) a lokalnym polem falowania (wysokość fali całkowitej, wiatrowej oraz martwej) w południowej części Bałtyku, w celu wykorzystania zidentyfikowanych relacji do opracowania scenariuszy zmian falowania w XXI wieku oraz identyfikacja konsekwencji wynikających ze zmiany cech falowania dla polskiej strefy brzegowej.

Charakterystyka klimatu falowania dla południowej części Morza Bałtyckiego została opracowana w oparciu o rezultaty symulacji numerycznej (model falowania „płytkiej wody”), która uruchamiana była w trybie hindcastu. Rozdzielczość przestrzenna hindcastu wynosiła 15,875 km, co pozwalało na wyznaczenie charakterystyk falowania aż w 563. punktach zlokalizowanych na Bałtyku. Integracji widm dokonywano, co 15 minut, jednak na potrzeby niniejszego opracowania wybrano dane z krokiem czasowym, co 3 godziny.

Przeprowadzona w pracy analiza, polegała na wyznaczeniu statystycznych charakterystyk elementów falowania na Bałtyku w zakresie rocznego przebiegu średnich wartości miesięcznych elementów falowania oraz dla dwóch sezonów: sezonu sztormowego (IX-III) i bezsztormowego (IV-VIII).

Analizie została poddana częstość występowania i współwystępowania (%) elementów falowania i wiatru. Wyznaczono ponadto kwantyl 99% dla podstawowych charakterystyk opisujących falowanie. Ponadto obliczono prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia fal o określonej wysokości, które powstają wyłącznie wtedy, gdy występuje wiatr z określonego kierunku. W ramach analizowanego celu wiele miejsca poświęcono zależności wysokości fali od prędkości wiatru przy określonych kierunkach wiatru przy zastosowaniu regresji liniowej. Ponadto podjęto próbę ustalenia wpływu czasu trwania wiatru na rozwój fali. Dopasowano również rozkład Weibulla (wyznaczenie parametrów A i k rozkładu) dla wysokości falowania i prędkości wiatru.

Najwyższe falowanie występuje w centralnej części Bałtyku, gdzie rozciągłość działania wiatru jest duża, zarówno dla wiatrów wiejących z sektora zachodniego, południowego, jak i północnego. Zarówno prędkości wiatru, jak i średnie elementy fali, są większe we wschodniej, niż w zachodniej części Bałtyku. Z rezultatów analizy współwystępowania wysokości falowania i kierunku wiatru wynika, że fale powyżej 1 m wywoływane są najczęściej przez wiatr z sektora zachodniego, zaś drugie maksimum

częstości - znacznie mniejsze od pierwszego, występuje przy wiatrach południowo-zachodnich. Najmniejsze fale przy wietrze z kierunku od południowego do północnego występują w relatywnie płytkiej, otoczonej z trzech stron lądem - zachodniej części Bałtyku.

Na Morzu Bałtyckim ponad 50% sytuacji odpowiada falowaniu małemu ($H_C \leq 1$ m). Fale o rozmiarach powyżej 4 m stanowią około 3 - 4% przypadków. Należy zauważyć, że we Wschodnim Basenie Gotlandzkim można oczekiwać jeszcze większych wartości elementów fali (powyżej 9 m), bowiem ich rozwój nie jest tam ograniczony głębokością.

Analiza zależności między wysokością falowania a prędkością wiatru w funkcji kierunku wiatru pokazała, że na Bałtyku zależności te można z bardzo dobrym przybliżeniem opisać funkcją liniową. Współczynnika determinacji r^2 są znaczne (0,84-0,94), może to świadczyć o tym, że pole falowania na Bałtyku jest niemalże natychmiastową odpowiedzią na pole wiatru. Dynamika zmian wysokości falowania na Bałtyku w odpowiedzi na zmianę siły wymuszenia wiatrowego o 1 ms^{-1} , kształtuje się w zakresie od 0,12 do 0,27 m.

Falowanie na Bałtyku podlega sezonowym zmianom wynikającym z sezonowych zmian cyrkulacji atmosferycznej. Struktura przestrzenna wektorów własnych rozpinających przestrzeń sygnału pola wysokości falowania całkowitego i wiatrowego jest niskowymiarowa. Świadczy to o mniejszej, w porównaniu do wysokości fali martwej, liczbie czynników kształtujących czasowo-przestrzenną zmienność tych elementów, zwłaszcza w skali roku jak i w sezonie sztormowym. Przeprowadzona analiza potwierdziła istnienie związku przyczynowego, między regionalną cyrkulacją atmosferyczną w rejonie Europy i północnego Atlantyku, a wysokością falowania w południowej części Morza Bałtyckiego. Pozwoliła też określić empiryczne funkcje przejścia między regionalnym polem barycznym a wysokością falowania. Podstawową konsekwencją wspomnianego związku jest wzrost anomalii wysokości fali wzdłuż polskiego wybrzeża z zachodu na wschód lub odwrotnie, w zależności od tego czy cyrkulacja atmosferyczna sprzyja tworzeniu się ekstremalnych fal na Bałtyku czy też nie.

Jak pokazały empiryczne funkcje przejścia między regionalnym polem barycznym nad Europą i Północnym Atlantykiem a polem lokalnym tj. wysokością falowania całkowitego i wiatrowego w południowej części Morza Bałtyckiego, wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zmiany falowania jest istotny. Ponadto skonstruowane przy zastosowaniu metody kanonicznej korelacji oraz analizy redundancji modele są kilkowymiarowe, współczynniki korelacji między seriami czasowymi stowarzyszonymi z mapami kanonicznymi mają często wartość powyżej 0,7, a mapy kanoniczne pól lokalnych wyjaśniają ponad 97% wariancji w skali roku i sezonu sztormowego oraz ponad 93% w sezonie bezsztormowym.

Opracowane dla falowania w południowej części Morza Bałtyckiego scenariusze zmian tego elementu w latach 2011-2030 na podstawie rezultatów modelu ECHAM5

wskazują na wzrost wysokości falowania w skali roku (z wyjątkiem scenariusza B1) oraz w obu rozpatrywanych sezonach. Scenariusze oparte o model ECHAM5, pokazują, że w latach 2011-2030 w sezonie sztormowym kwantyl 50% wysokości falowania będzie wyższy o 0,20-0,40 m (w scenariuszu A1B), o 0,20-0,60 m (A2) i o 0,20 m (B1) w stosunku do wartości z okresu referencyjnego 1988-1993. W sezonie bezsztormowym spodziewane zmiany wartości kwantyla 50% wysokości falowania całkowitego w południowej części Morza Bałtyckiego zwiększą się o 0,02-0,06 m (w scenariuszu A1B), o 0,00-0,01 (A2) i 0,04 m (B1) w odniesieniu do lat z 1988-1993. Uzyskane rezultaty symulacji opartych o model HadCM3 wskazują na spadek wartości kwantyla 50% wysokości falowania całkowitego w skali roku i w sezonie sztormowym w większości analizowanych scenariuszy emisyjnych zarówno w latach 2011-2030, jak i 2081-2100. Jedynie w sezonie bezsztormowym w obu analizowanych okresach są prawdopodobne wzrosty w południowej części Morza Bałtyckiego. Na podstawie symulacji modelem HadCM3 w latach 2011-2030 największy spadek wartości kwantyla 50% wysokości falowania całkowitego przewiduje w skali roku scenariusz A2 i B1 o 0,10-0,30 m i w sezonie sztormowym scenariusz A2 o 0,10-0,45 m. Największy wzrost analizowanego elementu w sezonie bezsztormowym, przewiduje scenariusz A1B o 0,08-0,14 m w odniesieniu do wartości z lat 1988-1993. Zarówno symulacje oparte o model HadCM3 jak i ECHAM5 zakładają wyższe wartości omawianego parametru w latach 2081-2100 w stosunku do okresu z początku XXI wieku przy różnym stopniu nasilenia tych zmian w zależności od przyjętej ścieżki emisyjnej.

Parametry falowania powinny stanowić istotny element monitoringu Bałtyku, a w szczególności polskiej strefy brzegowej, a przedstawiona w pracy metodyka może być wykorzystana do przygotowania prognoz długoterminowych. Przeprowadzone w pracy obliczenia i analiza uzyskanych wyników, choć umożliwiły dokonanie charakterystyki falowania na Bałtyku, to jednocześnie ujawniły szereg problemów, które wymagają dalszych prac badawczych ukierunkowanych na ich rozwiązanie. Do najważniejszych, jak się wydaje, należy zaliczyć określenie klimatu falowania w tej części Bałtyku, gdzie corocznie występuje zlodzenie - ze zwróceniem szczególnej uwagi na okresy narastania i zanikania pokrywy lodowej.

Gdynia, 15 marca 2012 r.

Emo Jakusik