

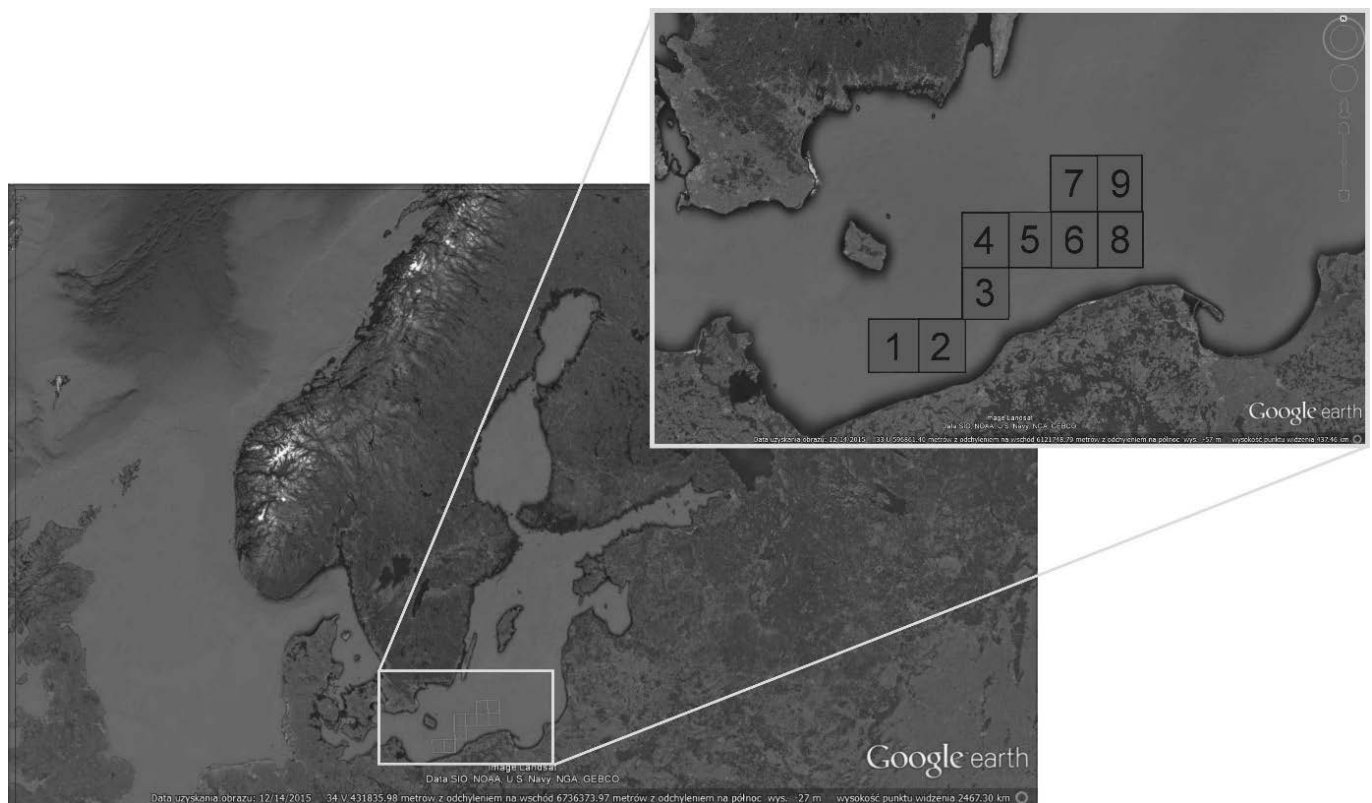
# Morskie farmy wiatrowe: określenie parametrów środowiskowych oddziałujących na planowane elektrownie wiatrowe w obszarze Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej

Dr inż. Tomasz Marcinkowski – Instytut Morski w Gdańsku

Dr inż. Piotr Szmytkiewicz – Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk

Zgodnie z raportem opublikowanym przez *European Wind Energy Association*, w ciągu pierwszych sześciu miesięcy 2015 roku do europejskiej sieci przesyłowej podłączono 584 nowe morskie turbiny wiatrowe generujące energię o mocy 2342,9 MW. W tym samym czasie wybudowano 102 turbiny, które oczekują na podłączenie do sieci oraz posadowiono

138 nowych konstrukcji wsporczych. W obszarze mórz europejskich (11 państw) pracują obecnie 3072 turbiny wiatrowe zgrupowane w 82 farmach wiatrowych, generując energię o mocy 103 GW (stan na 01.07.2015) [4]. Polskie urzędy opiniujące możliwość budowy krajowych morskich farm wiatrowych procedują pierwszy raport Oceny Oddziaływania na Środowisko



Rys. 1. Pola badawcze Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej poddane analizie

(OOŚ) złożony latem 2015 roku przez jedną z polskich firm energetycznych [6]. Jesienią 2015 roku największa polska firma energetyczna ogłosiła przetarg na wykonanie biotycznych i abiotycznych badań środowiskowych poprzedzających projektowanie i uzyskanie pozwoleń środowiskowych na wzniesienie farmy wiatrowej w granicach Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej [17]. Dotychczas w „Inżynierii Morskiej i Geotechnice” opublikowano kilka artykułów omawiających niektóre aspekty budowy i eksploatacji morskich turbin wiatrowych [13, 14, 15], natomiast brak jest pracy dotyczącej określenia parametrów projektowych w obszarze Bałtyku południowego.

W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz wielkości oddziaływań środowiskowych (prędkości wiatru, falowania, prądów morskich, poziomów zwierciadła wody) oddziaływujących na konstrukcje wsporcze Morskich Elektrowni Wiatrowych (MEW) posadowionych w granicach Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej. Wyznaczenie wartości obciążeń działających na konstrukcje wsporcze wykonano zgodnie z zaleceniami i wytycznymi międzynarodowych towarzystw klasyfikacyjnych oraz na podstawie aktualnego stanu wiedzy.

## OBSZAR BADAŃ

W celu wyznaczenia wielkości obciążeń działających na konstrukcje wsporcze projektowanych turbin wiatrowych, obszar południowego Bałtyku podzielono na dziewięć podobszarów, tak zwanych pól badawczych, rozciągających się w granicach 15°00' E – 18°00' E oraz 54°20' N – 55°40' N (rys. 1). Każde z pól ma wymiar 32 × 37 km. Obciążenia środowiskowe analizowano oddzielnie dla każdego pola badawczego.

## DANE POMIAROWE

W celu wyznaczenia wartości obciążeń działających na konstrukcje wsporcze MEW, o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia, należy dysponować wynikami ciągłych, długoterminowych (kilkanaście, kilkadziesiąt lat) pomiarów środowiskowych parametrów hydro-meteorologicznych. Takie pomiary nie były i nie są prowadzone w obszarze przeznaczonym pod budowę polskich farm wiatrowych.

Warunki meteorologiczne (temperatura, ciśnienie, prędkość i kierunek wiatru) na otwartym morzu określa się na podstawie wartości pól temperaturowych, barycznych i wiatrowych, rejestrowanych w stacjach meteorologicznych, położonych wzdłuż wybrzeża Bałtyku i na podstawie pomiarów wykonywanych przy użyciu technik satelitarnych [8]. Metody satelitarne zyskują w ostatnim czasie na popularności [np. 12], nie mniej jednak nie są stosowana na szerszą skalę. Jedynie Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) mierzy w sposób ciągły prędkości i kierunki wiatrów w brzegowych stacjach meteorologicznych, a także poziomy wody w stacjach mareograficznych, zlokalizowanych w polskich portach. Ciągłe pomiary parametrów falowania na obszarze głębokości wody około 20 m są wykonywane od 1997 roku w należącym do Instytutu Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk Morskim Laboratorium Brzegowym w Lubiatowie (MLB). W MLB prowadzone są także w systemie

ekspedycyjnym pomiary prądów w strefie brzegowej. Chwilowe pomiary prądów morskich otwartego morza są wykonywane regularnie przez IMGW oraz Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, a krótkoterminowe pomiary poziomów wody oraz prądów morskich na otwartym morzu realizuje również Instytut Morski w Gdańsku.

Ze względu na brak ciągłych, długoterminowych pomiarów wielkości wiatrowych i hydrodynamicznych w obszarze projektowanego usytuowania farm wiatrowych, do określenia obciążeń środowiskowych wykorzystano wyniki pochodzące z analiz numerycznych. Otrzymane w ten sposób wyniki zweryfikowano przez porównanie z dostępnymi pomiarami parametrów wiatrowych i hydrodynamicznych z różnych akwenów Morza Bałtyckiego.

## DANE NUMERYCZNE

### Wiatr

Procesy wiatrowe dla dziewięciu pól badawczych oszacowano modelem numerycznym HIRLAM [5] oraz REMO. Danymi wejściowymi do tych modeli są wartości pól barycznych i wiatrowych. Na potrzeby niniejszej analizy wykorzystano wartości pól barycznych rejestrowanych nad Bałtykiem w latach 1958-2012 oraz wiatrowych, obliczanych w siatkach numerycznych o rozdzielczości REMO – 0,5° × 0,5°, HIRLAM – 11 × 11 km, z częstotliwością próbkowania 1 godzina. W wyniku obliczeń, dla każdego węzła siatki numerycznej, w każdej kolejnej godzinie otrzymano wartości prędkości i kierunku wiatru na wysokości 10 m n.p.m.

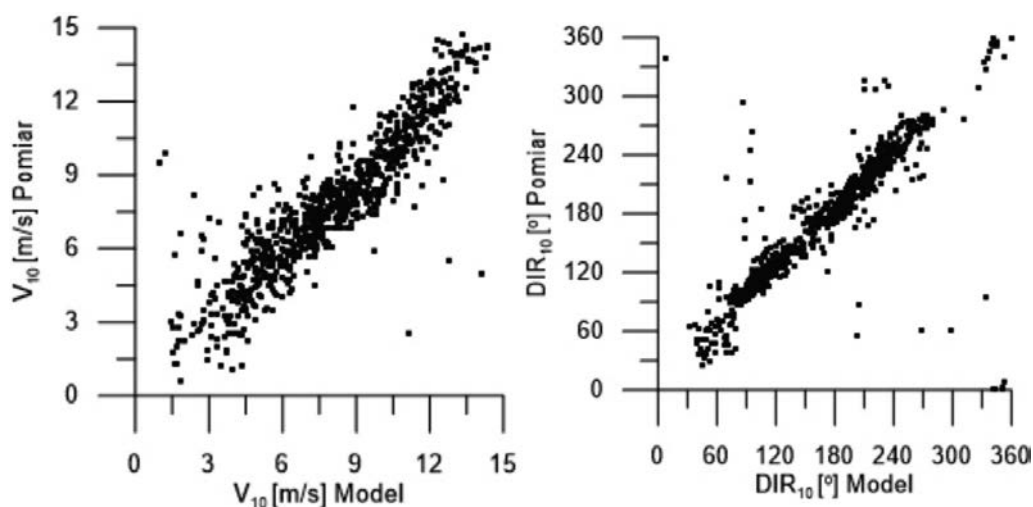
Wyniki symulacji numerycznej porównano z danymi zarejestrowanymi przez stację morską FINO2 [7], położoną w Zatoce Arkońskiej (rys. 2), w odległości około 35 km od brzegów morskich. Stacja FINO2 wykonuje pomiary wielkości hydro-meteorologicznych, w tym między innymi prędkości i kierunku wiatru na wysokości od 32 do 102 m n.p.m. W celu określenia rozkładu prędkości wiatru w profilu od 10 do 100 m n.p.m. (spodziewana wysokość umiejscowienia turbin wiatrowych) zastosowano następującą procedurę:

- 1) dla danych rejestrowanych przez stację FINO2, na wymienionych wysokościach, wyznaczono funkcje ekstrapolacyjne rozkładów prędkości wiatru od rzędnej 10 do 102 m n.p.m.;
- 2) dla tego samego okresu rejestracji przez stację FINO2 danych wiatrowych wykorzystano z modelu HIRLAM prędkości wiatru obliczane dla wysokości 10 m n.p.m., w miejscu posadowienia stacji;
- 3) wykorzystując parametry funkcji ekstrapolacyjnych, otrzymane w punkcie (1) procedury, wyznaczono pionowy profil prędkości, otrzymany z modelu HIRLAM dla miejsca posadowienia stacji;
- 4) parametry ekstrapolacyjne otrzymane w (1) wykorzystano do wyznaczenia prędkości wiatru na wysokości 100 m n.p.m. w dziewięciu polach badawczych.

Na rys. 3 przedstawiono porównanie przykładowych wyników modelu numerycznego HIRLAM z danymi rejestrowanymi



Rys. 2. Położenie referencyjnych stacji pomiarowych FINO 2, Ustka IMGW i MLB Lubiato IBW PAN



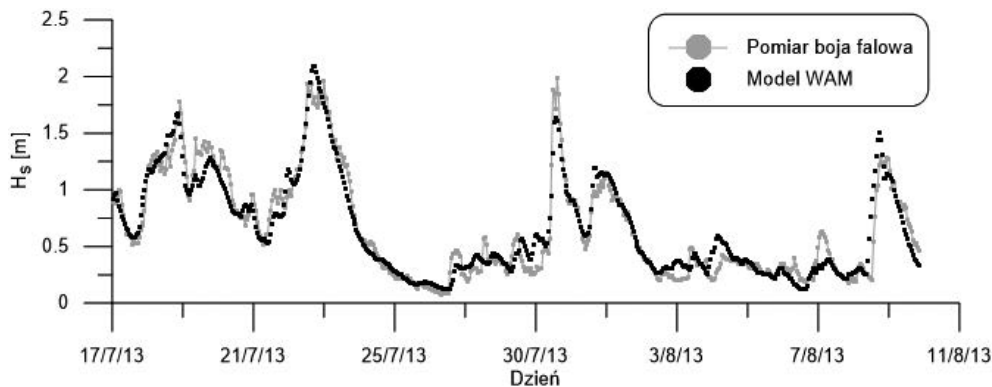
Rys. 3. Wykresy prędkości ( $V_{10}$  Pomiar względem  $V_{10}$  Model) i kierunku wiatru ( $DIR_{10}$  Pomiar względem  $DIR_{10}$  Model) obliczone dla okresu 10/10/14–20/11/14 z użyciem modelu numerycznego (współczynnik korelacji = 0,9005 dla prędkości wiatru, 0,9115 dla kierunku wiatru)

przez stację morską FINO2. Jakościowa i ilościowa analiza danych wiatrowych otrzymanych z modelu numerycznego i pomiaru prowadzonego *in situ* wskazuje na ich bardzo wysoką korelację. Wyznaczone współczynniki korelacji dla prędkości i kierunku wiatru wynoszą odpowiednio 0,9005 i 0,9115.

Mimo stosunkowo blisko położonej od stacji bariery orograficznej (brzegu) otrzymano dobrą zgodność pomiędzy obliczonymi i pomierzonymi prędkościami wiatru. Można więc założyć, że dla otwartego morza południowego Bałtyku zgodność otrzymanych wyników, wyrażona wielkością współczynnika korelacji, będzie na poziomie co najmniej 0,9.

### Parametry falowe

W niniejszej pracy wykorzystano wyniki obliczeń pola falowego na Bałtyku, wykonanych w okresie 55 lat, to jest 1958-2012, przy użyciu modelu spektralnego WAM [16]. Obliczenia dla pierwszych 44 lat (1958-2001) przeprowadzono w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN przy wykorzystaniu modelu WAM 4 o rozdzielczości 5 Mm, a dla ostatnich 11 lat (2002-2012) wyniki pochodzą z obliczeń Instytutu Morskiego w Gdańsku wykonanych przy wykorzystaniu modelu WAM 4.5.4 o rozdzielczości 1 Mm. W przypadku każdej kolejnej go-



Rys. 4. Porównanie wysokości fali  $H_s$  [m] zmierzonych na obszarze o głębokości wody około 18 m w MLB Lubiatowo IBW PAN w dniach 17.07 ÷ 11.08.2013 oraz obliczonych modelem WAM

dziny i każdego węzła siatki otrzymano reprezentatywną wysokość fali znacznej, okres pikowy i średni kąt propagacji fali.

Porównanie wyników modelowania i pomiarów falowania *in situ* oraz pomiarów satelitarnych wykazało, że model zadowalająco przybliża falowanie rzeczywiste i może być wykorzystywany do analizy klimatu falowego na Bałtyku [1]. Przykład porównania wysokości fali znacznej zmierzonych i obliczonych przedstawiono na rys. 4.

Współczynniki korelacji wartości pomierzonych i modelowanych, na podstawie badań własnych i cytowanych w literaturze, przekraczają wartość 0,80 [20, 21]. W dłuższych okresach pomiarowych różnica między uśrednionymi modelowanymi i zmierzonymi wysokościami fali znacznej ( $\bar{H}_s^{POM} - \bar{H}_s^{WAM}$ ) jest rzędu 1 cm [1].

### Poziom wody

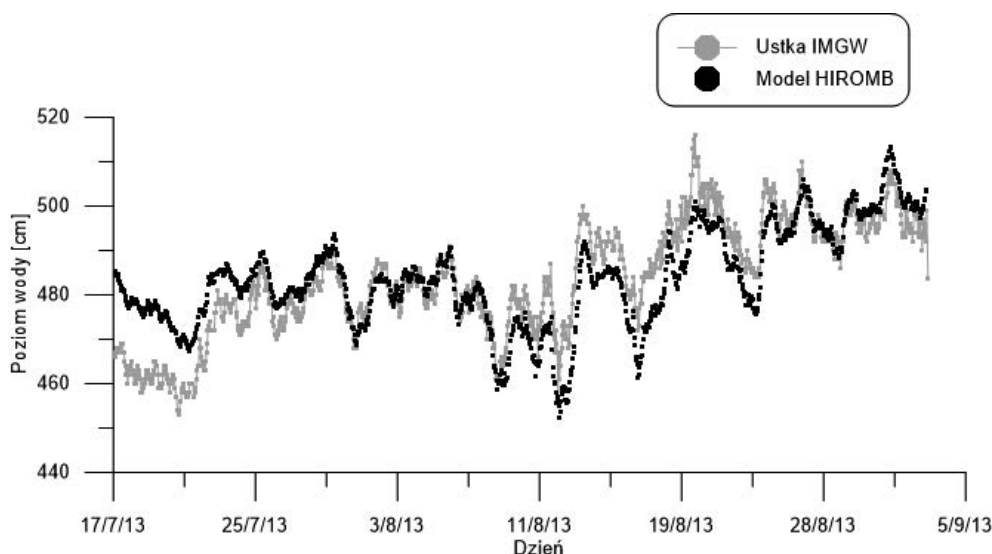
Materiałem źródłowym do analizy poziomu wody na Bałtyku są wyniki obliczeń otrzymane w analizie przeprowadzonej z użyciem modelu numerycznego HIROMB [3] dla lat 2005-2012. Podobnie jak w przypadku wiatrów i falowania dla każdego węzła siatki numerycznej wyznaczono poziomy wody w morzu uzyskane w interwale godzinnym. Weryfikację obliczonych po-

ziomów przeprowadzono poprzez ich porównanie z poziomami wody rejestrowanymi przez mareograf w porcie w Ustce (patrz rys. 2). Węzeł siatki numerycznej, dla którego porównano wyniki obliczeń i pomiarów, był oddalony od brzegu o około 20 km w polu badawczym nr 3 (patrz rys. 1). Na rys. 5 przedstawiono przykładowo porównanie wahań poziomów wody.

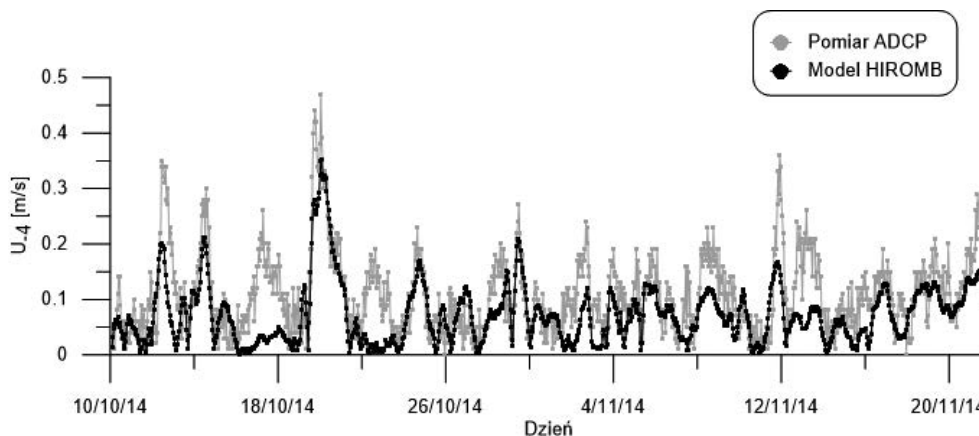
Wyniki obliczeń wykonanych dla punktu na otwartym morzu wskazują na znaczne jakościowe podobieństwo do wartości pochodzących ze stacji mareograficznej. Zwraca uwagę fakt, że o ile charakterystyka zmian poziomu morza na otwartym morzu i na brzegu jest podobna dla słabych i średnich warunków hydrologicznych, to w przypadku występowania silnych i bardzo silnych sztormów podobieństwo takie ulega zmniejszeniu w aspekcie ilościowym. W tym przypadku zmiany poziomu wody w sąsiedztwie brzegu charakteryzują się większą intensywnością niż ma to miejsce na otwartym morzu.

### Prądy morskie

Prądy morskie obliczono z użyciem modelu numerycznego HIROMB [3] dla lat 2005-2012. Obliczone wartości obejmowały godzinowe prędkości i kierunki przepływów dla warstwy podpowierzchniowej (4 m poniżej zwierciadła wody) i przyden-



Rys. 5. Porównanie zmian poziomu wody w porcie Ustka w okresie 17.07 ÷ 5.09.2013 zmierzonych i obliczonych z wykorzystaniem modelu HIROMB



Rys. 6. Porównanie prędkości prądu na głębokości 4 m poniżej zwierciadła wody w okresie 10.10–20.11.2014 w MLB Lubiatowo IBW PAN (głębokość wody w punkcie pomiaru 16 m) zmierzonych i obliczonych z wykorzystaniem modelu HIROMB

Tabl. 1. Podsumowanie informacji dotyczących zastosowanych modeli numerycznych i zasobów posiadanych danych

| Obliczana wielkość środowiskowa  | Stosowany model numeryczny | Lata, w których uzyskano wielkości godzinowe |
|--|----------------------------|--|
| Prędkość i kierunek wiatru na wysokości 10 m n.p.m.  | REMO, HIRLAM               | 1958-2012                                    |
| Wysokość, okres i kierunek propagacji fali   | WAM                        | 1958-2001<br>2002-2012                       |
| Poziom wody  | HIROMB                     | 2005-2012                                    |
| Prędkość i kierunek propagacji prądów w warstwie przy powierzchniowej (4 m p.p.m) i przydennej (2 m n.p.d) | HIROMB                     | 2005-2012                                    |

nej (2 m nad dnem). Weryfikację otrzymanych wyników przeprowadzono na podstawie zmierzonych prędkości przepływu wody w strefie brzegowej w MLB Lubiatowo IBW PAN (rys. 6).

Zwraca uwagę relatywnie dobra jakościowa zgodność prędkości obliczonych i zmierzonych, przy czym wartości prędkości zmierzone były z reguły większe od obliczonych. Różnice te wynikają przede wszystkim ze zbyt dużych odległości pomiędzy węzłami siatki numerycznej oraz trudności związanych z poprawnym przyjęciem wartości współczynników turbulentnych. W warunkach naturalnych współczynniki te charakteryzują się dużą zmiennością czasowo-przestrzenną, natomiast w modelu są przyjmowane jako stałe.

W tabl. 1 przedstawiono podsumowanie dotyczące zasobu posiadanych wyników obliczeń numerycznych dla węzłów siatki numerycznych znajdujących się w wyznaczonych dziewięciu polach badawczych.

### WARUNKI DYNAMICZNE DZIAŁAJĄCE NA KONSTRUKCJE WSPORCZE TURBIN WIATROWYCH

Dla projektowanych farm wiatrowych założono co najmniej kilkudziesięcioletni okres ich pracy. Oznacza to, że muszą one wytrzymać działające na nie obciążenia w warunkach sztormo-

wych o okresie powtarzalności przekraczającym założony okres użytkowania budowli, to jest 50 lat.

Przy wyznaczeniu wartości projektowych o zadanym okresie powtarzalności postępowano zgodnie z zaleceniami Det Norske Veritas [2], Kamphuis [9] oraz Marcinkowskiego i Szymtkiewicza [10]. W tym celu w opisie funkcji rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych losowych (wiatru i falowania) wykorzystano cztery podstawowe funkcje, a mianowicie dwu- i trójparametrowy rozkład Weibulla (1) i (2), rozkład Gumbela (3) oraz rozkład GEV:

$$f_{w,2}(V) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{V}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\lambda}\right)^k} \quad (1)$$

$$f_{w,3}(V) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{V-\phi}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V-\phi}{\lambda}\right)^k} \quad (2)$$

$$f_G(V) = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{V-\phi}{\lambda}} - e^{-\frac{V-\phi}{\lambda}} \quad (3)$$

gdzie:

$\lambda, k, \phi$  – odpowiednio parametr skali, kształtu i położenia,  
 $V$  – zmienna losowa; w zależności od prowadzonej analizy może to być prędkość wiatru, wysokość fali, itp.

W tabl. 2 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów obciążeń środowiskowych oddziałujących na konstrukcje wsporcze, które hipotetycznie byłyby posadowione w polach badawczych 1 i 9, o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na  $T_r = 50$  lat. Wyznaczone wielkości to: porywy i prędkości wiatru na wysokości 10 i 100 m n.p.m., wysokość fali znacznej i okres piku fali, poziom wody oraz prędkość prądów morskich na głębokościach 4 i 28 m. W tabl. 3 przedstawiono wartości średnie charakterystycznych wielkości środowiskowych oddziałujących na konstrukcję wsporczą (wiatr na wysokości 100 i 10 m n.p.m., wysokość fali oraz prędkość prądów na głębokości 4 i 28 m).

Obliczone maksymalne porywy wiatru na wysokości 100 m n.p.m. o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 50 lat wahają się od około 37 m/s (Pole 1) do około 42 m/s w polu położonym na otwartym morzu (Pole 9). Müller w 2013 roku pokazał [11], że maksymalna prędkość porywu wiatru na wysokości 102 m n.p.m., wśród danych rejestrowanych w okresie od 2007 do 2013 przez stacje FINO2, wyniosła 39 m/s. Potwierdza to pośrednio zgodność otrzymanych wyników obliczeń z danymi pomiarowymi. Maksymalna prędkość wiatru na wysokości 100 m n.p.m. zależy od położenia geograficznego pola badaw-

**Tabl. 2. Parametry obciążeń dynamicznych o okresie powtarzalności  $T_R = 50$  lat (wiatr, fala, poziom wody, prąd) oddziaływujących na konstrukcje wsporcze morskich turbin wiatrowych, planowanych do posadowienia w Polach badawczych 1 i 9**

|   | Pole badawcze nr |      |
|---|------------------|------|
|   | 1                | 9    |
| <b>Parametry obciążeń dynamicznych (okres powtarzalności <math>T_R = 50</math> lat)</b> |                  |      |
| Poryw wiatru na wysokości 100 m n.p.m. [m/s]  | 37,2             | 42,3 |
| Prędkość wiatru na wysokości 100 m n.p.m. [m/s]   | 32,3             | 36,5 |
| Poryw wiatru na wysokości 10 m n.p.m. [m/s]   | 32,4             | 36,6 |
| Prędkość wiatru na wysokości 10 m n.p.m. [m/s]  | 26,1             | 29,1 |
| Wysokość fali znacznej [m]  | 7,2              | 9,0  |
| Okres piku fali [s]   | 10,9             | 12,2 |
| Szacowany maksymalny poziom wody [cm]   | 620              | 575  |
| Szacowana maksymalna prędkość prądu na głębokości 4 m p.p.m. [m/s]                      | 1,14             | 0,97 |
| Szacowana maksymalna prędkość prądu na głębokości 28 m p.p.m. [m/s]                     | 0,57             | 0,47 |

**Tabl. 3. Parametry średnich obciążeń dynamicznych (wiatr, fala, poziom wody, prąd) oddziaływujących na konstrukcje wsporcze morskich turbin wiatrowych, planowanych do wybudowania w Polach badawczych 1 i 9**

|   | Pole badawcze nr: |      |
|---|-------------------|------|
|   | 1                 | 9    |
| <b>Parametry obciążeń dynamicznych (wartości średnie)</b> |                   |      |
| Prędkość wiatru na wysokości 100 m n.p.m. [m/s]           | 8,4               | 9,2  |
| Prędkość wiatru na wysokości 10 m n.p.m. [m/s]            | 6,8               | 7,5  |
| Wysokość fali znacznej [m]                                | 0,9               | 1,1  |
| Prędkość prądu na głębokości 4 m p.p.m. [m/s]             | 0,1               | 0,09 |
| Prędkość prądu na głębokości 28 m p.p.m. [m/s]            | 0,07              | 0,05 |

czego (por. rys. 2), jest mniejsza dla pola położonego bliżej brzegu, to jest dla Pola 1 wynosi około 32 m/s (średnia wieloletnia – 8,4 m/s), zaś dla bardziej oddalonego Pola 9 – 37 m/s (średnia wieloletnia – 9,2 m/s). W celu porównania: średnia prędkość wiatru na wysokości 101 m n.p.m. w Zatoce Arkońskiej (stacja FINO2) wynosi 9,9 m/s. Maksymalny poryw wiatru na wysokości 10 m n.p.m. jest równy około 32 m/s w Polu 1 i około 37 m/s w Polu 9. Prędkości maksymalne na wysokości 10 m n.p.m. są mniejsze i wynoszą około 26 i 29 m/s odpowiednio w Polach 1 i 9. Przy czym wartości średnie są dużo mniejsze i wynoszą 6,8 i 7,5 m/s, odpowiednio dla Pól 1 i 9.

Obliczone wysokości fal znacznych wahają się w stosunkowo dużym zakresie, to jest od 7,2 m w Polu 1 do 9,0 m w Polu 9. Średnie wysokości fal są równe odpowiednio 0,9 m (Pole 1)

i 1,1 m (Pole 9). Obliczone okresy fal maksymalnych odpowiadają falam długim (zakresy od około 11 do 12 s, odpowiednio Pole 1 i 9).

Obliczone maksymalne podniesienie poziomu wody dla pola badawczego położonego bliżej brzegu może być rzędu 620 cm (1,2 m ponad poziom spokoju). W przypadku pól badawczych położonych dalej od brzegu (np. Pole 9) średnie podniesienie poziomu wody jest mniejsze i wynosi 570 cm (0,7 m ponad poziom spokoju).

Obliczone maksymalne prędkości przepływów wody na głębokości 4 m p.p.m. w obydwu polach badawczych są rzędu 1 m/s, a na głębokości 28 m p.p.m. 0,5 m/s. Średnia wieloletnia prędkość przepływu wody jest dużo mniejsza i wynosi na głębokości 4 m p.p.m. odpowiednio 0,1 i 0,09 w Polu 1 i 9, a na głębokości 28 m p.p.m. 0,07 i 0,05 m/s w Polu 1 i 9.

## PODSUMOWANIE

W pracy przeanalizowano wyniki otrzymane przy zastosowaniu globalnych modeli numerycznych HIRLAM, REMO, WAM i HIROMB. Uzyskano godzinowe wartości prędkości i kierunku wiatru na wysokości 10 m n.p.m., wielkości falowe, prądowe oraz poziomy wody odpowiednio w latach 1958-2012 (wiatr i fale) i 2005-2012 (prądy i poziomy wody) w dziewięciu polach badawczych zlokalizowanych na obszarze południowego Bałtyku. Wyniki modelowania poszczególnych wielkości porównano z odpowiednimi wartościami zmierzonymi w tym obszarze. Współczynniki korelacji wartości obliczonych i zmierzonych, w zakresie od 0,8 do 0,91, świadczą, że wyniki modelowania można uznać za reprezentatywne w celu charakteryzowania obciążeń środowiskowych oddziaływujących na konstrukcje wsporcze morskich turbin wiatrowych. W kolejnym etapie analizy, dla Pola badawczego 1 i 9, określono prędkości i porywy wiatru na wysokościach 10 i 100 m n.p.m., wielkości falowe (wysokość i okres fali) i prądowe oraz poziomy wody o okresie powtarzalności 50 lat.

Prezentowana praca jest pierwszą analizą obciążeń środowiskowych oddziaływujących na morskie turbiny wiatrowe w granicach Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej (Bałtyk południowy). Należy podkreślić, że pomimo braku długoterminowych pomiarów wielkości środowiskowych prowadzonych w danym obszarze morza uzyskano dobre korelacje wyników obliczeń numerycznych i pomiarów.

## LITERATURA

1. Cieślakiewicz W., Paplińska-Swercel B.: A 44-year hindcast of wind wave fields over the Baltic Sea. Coastal Engineering, Vol. 55, No. 11, 2008.
2. DNV-OS-J101 Offshore Standard, Design of Offshore Wind Turbine Structures, May 2014.
3. Funkquist L., Kleine E.: HIROMB – An introduction to HIROMB, an operational baroclinic model for the Baltic Sea, SMHI, REPORT OCEANOGRAPHY No 37, 2007.
4. Ho A., Mbistrova A., Pineda I., Ruby K., Ros C.: The European offshore wind industry – key trends and statistics 1st half 2015. A report by the European Wind Energy Association, July 2015.

5. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-European-Offshore-Statistics-H1-2015.pdf>
6. <http://hirlam.org/>
7. <http://www.baltyk3.pl/>
8. <http://www.fino-offshore.de/en/>, PROJEKT FINO sponsorowany przez FEDERAL MINISTRY for ECONOMIC AFFAIRS and ENERGY
9. Jakusik E., Krzysiński W., Łysiak-Pastuszek E., Zalewska T.: Bałtyk południowy w 2012. Charakterystyka wybranych elementów środowiska, IMGW, Warszawa, 2013.
10. Kamphuis J. W.: Introduction to Coastal Engineering and Management. World Scientific Press 2000.
11. Marcinkowski T., Szmytkiewicz M.: Wyznaczanie fali projektowej. Inżynieria Morska i Geotechnika, 2010, nr 2, Gdańsk, 162-170.
12. Müller S.: Wind measurements at FINO2. FINO Conference 2013, 10 years research on offshore wind energy, Kiel/October 20th 2013, WIND-consult GmbH.
13. Sluzenikina J., Mannik A.: A comparison of ASCAT wind measurements and the HIRLAM model over the Baltic Sea. OCEANOLOGIA, 53 (1-TI), 2011.
14. Tarełko W.: Morskie farmy wiatrowe. Elementy konstrukcyjne turbin wiatrowych, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/2015.
15. Tarełko W.: Morskie farmy wiatrowe. Podstawy energetyki wiatrowej, Inżynieria morska i Geotechnika, nr 2/2015.
16. Tarełko W.: Morskie farmy wiatrowe: Posadowienie turbin wiatrowych, Inżynieria morska i Geotechnika, nr 6/2015.
17. The WAMDI Group, The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, Journal of Physical Oceanography, 18, 1988.
18. [www.pgeo.pl](http://www.pgeo.pl), <http://www.pgeo.pl/media/pdf/2015-OJS163-299233-pl.pdf>

**PODZIĘKOWANIE:** Przedstawiona praca powstała dzięki wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, projekt nr PBS1/A6/8/2012.