



## **CEL FUNKCJONOWANIA, ZADANIA I OBSZARY BADAWCZE CENTRUM MORSKIEJ ENERGETYKI WIATROWEJ POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ**

**Zbigniew Korczewski**

Politechnika Gdańska,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa  
Instytut Oceanotechniki i Okrętownictwa  
Zakład Siłowni Okrętowych  
ul. G. Narutowicza 11/12, 80–233 Gdańsk, tel/fax: (58) 347 21 81,  
e-mail: [zbikorc@pg.edu.pl](mailto:zbikorc@pg.edu.pl)

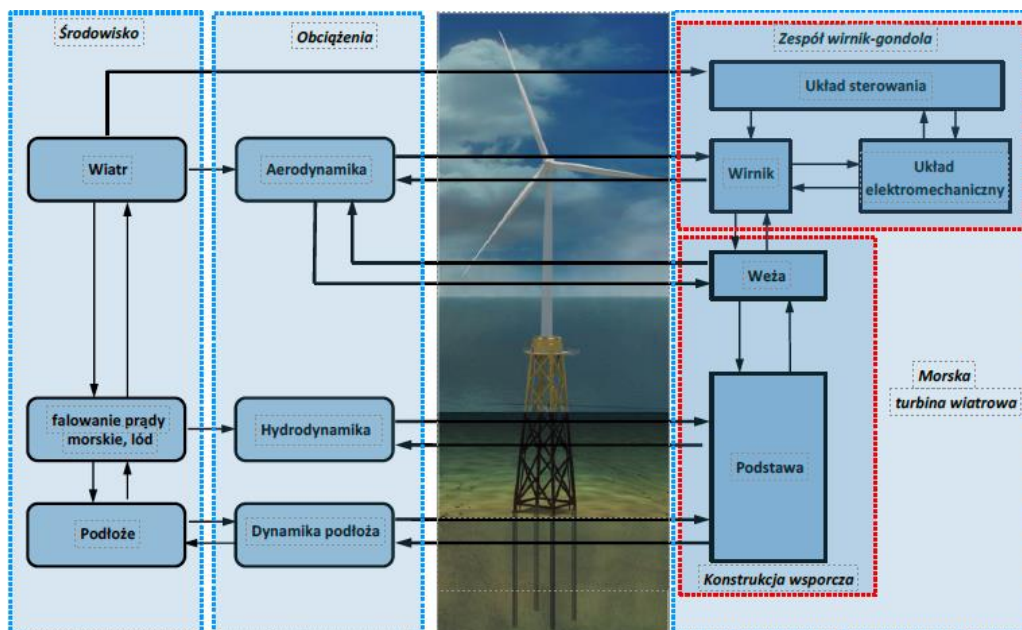
### **Streszczenie**

*W artykule przybliżono wybrane aspekty funkcjonowania Centrum Morskiej Energetyki Wiatrowej w Politechnice Gdańskiej. Scharakteryzowano główne zadania Centrum oraz wstępnie zdefiniowane obszary badawcze, w których specjalizują się naukowcy reprezentujący niemal wszystkie wydziały akademickie Uczelni (oprócz Wydziału Architektury). Przedstawiono kierunki działania Centrum w perspektywie kilku najbliższych lat, w wyniku których nastąpi weryfikacja i konieczne doprecyzowanie obszarów badawczych, zgodnie z oczekiwaniami inwestorów morskich farm wiatrowych budowanych w polskiej wyłącznie strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego.*

Słowa kluczowe: *Politechnika Gdańska, centra badawcze, morska energetyka wiatrowa.*

Morska energetyka wiatrowej jest obecnie zdecydowanie najbardziej dynamicznie rozwijająca się gałęzią przemysłu światowego. Jest to głównie podyktowane koniecznością szybkiego ograniczenia intensywności przebiegu tzw. efektu cieplarnianego i obserwowanego na Ziemi globalnego ocieplenia, w wyniku nadmiernej emisji dwutlenku węgla do atmosfery [Letcher, 2017].

Morska elektrownia wiatrowa (tzw. morska farma wiatrowa) to złożony system elektroenergetyczny, w którym realizowanych jest wiele niezwykle skomplikowanych przemian energetycznych, przy jednoczesnym, wzajemnym oddziaływaniu turbin wiatrowych i naturalnego środowiska morskiego – rys. 1.



Rys. 1. Wzajemne oddziaływanie układów funkcjonalnych morskiej turbiny wiatrowej, obciążeń i środowiska eksploatacji [Passon, 2015]

Kluczowym zagadnieniem naukowo-badawczym jest zatem zidentyfikowanie dynamiki tego oddziaływania, w aspekcie destrukcji układów funkcjonalnych turbiny wiatrowej wskutek statycznego i dynamicznego oddziaływania dna morskiego (podłoża) oraz wody i atmosfery morskiej, jak również degradacji środowiska morskiego pod wpływem pracujących turbin i farm wiatrowych [Dhanraj and Sugumaran, 2016].

Historia rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce jest dość długa, bo sięga 2011 roku<sup>1</sup>, jednak nie udało się zbudować, jak dotąd, żadnej turbiny wiatrowej na polskim morzu, głównie z powodu braku odpowiednich funduszy inwestycyjnych. Dopiero uruchomienie w bieżącym roku Krajowego Funduszu Odbudowy<sup>2</sup> znacznie przyspieszyło i skonkretyzowało działania legislacyjne, organizacyjne i technologiczne w tym względzie. Politechnika Gdańska również uczestniczy w tych działaniach, jako kluczowe zaplecze badawcze dla inwestorów i przyszłych eksploataatorów morskich farm wiatrowych, które mają powstać w polskiej wyłącznie strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego już w 2025 roku.

W pierwszym kroku uruchomiono w Politechnice Gdańskiej studia podyplomowe w specjalności *morska energetyka wiatrowa*, których II edycja zakończyła się w czerwcu 2021 roku, ciesząc się coraz większą popularnością różnych podmiotów zewnętrznych, zainteresowanych kształceniem swoich kadr w zakresie szeroko rozumianej energetyki wiatrowej.

W kolejnym kroku utworzono w Politechnice Gdańskiej badawczo-wdrożeniowe Centrum Morskiej Energetyki Wiatrowej (CMEW), którego kierownictwo powierzono autorowi niniejszej publikacji<sup>3</sup>.

Podstawowym celem funkcjonowania CMEW jest koordynacja wszystkich prac badawczych, wdrożeniowych i eksperckich realizowanych w Politechnice Gdańskiej na rzecz szeroko rozumianej morskiej energetyki wiatrowej. Zdefiniowano w tym zakresie główne obszary badawcze:

<sup>1</sup> W 2011 r. zainicjowało działalność Polskie Towarzystwo Morskiej Energetyki Wiatrowej.

<sup>2</sup> Krajowy Plan Odbudowy (KPO) ma na celu odtworzenie kondycji polskiej gospodarki po kryzysie wywołanym pandemią koronawirusa, w taki sposób aby zapewnić dodatkowo jej większą odporność na przyszłe nieprzewidziane okoliczności.

<sup>3</sup> Zarządzenie Rektora PG nr 31/2021 z dnia 19.05.2021 r. o powołaniu Centrum MEW.

1. Projektowanie statków specjalnych;
2. Diagnostyka układu mechanicznego i hydraulicznego turbiny wiatrowej;
3. Projektowanie i diagnostyka wirnika turbiny wiatrowej;
4. Kompleksowa ochrona przeciwkorozyjna wież turbin wiatrowych;
5. Bezpieczeństwo podwodne i nawodne farm wiatrowych;
6. Posadowienie morskich turbin wiatrowych;
7. Projektowanie układów magazynowania nadmiarowej energii wiatru;
8. Projektowanie układów regulacji mocy i przesyłu energii elektrycznej;
9. Kształcenie kadr i zarządzanie w morskiej energetyce wiatrowej

Sprecyzowano również statutowe zadania Centrum:

- a. wsparcie naukowe podmiotów zewnętrznych w zakresie projektowania, technologii wytwarzania i eksploatacji morskich farm wiatrowych,
- b. prowadzenie badań numerycznych i eksperymentalnych w ramach zdefiniowanych obszarów badawczych morskiej energetyki wiatrowej,
- c. doradztwo i konsultacje specjalistyczne przy rozwiązywaniu eksploatacyjnych problemów technicznych morskich farm wiatrowych,
- d. szkolenie kadry kierowniczej i inżynierskiej morskiej energetyki wiatrowej,

jak również powołano Radę Centrum<sup>4</sup> skupiającą naukowców prowadzących badania powiązane tematycznie ze zdefiniowanymi obszarami działania:

- prof. dr hab. inż. Zbigniew Korczewski - WIMiO – Koordynator
- dr inż. Andrzej Rogala – WCh
- dr hab. inż. Zbigniew Łubniewski, prof. uczelni – WETiI
- prof. dr hab. inż. Waldemar Kamrat – WEiA
- dr inż. Piotr Grygiel, prof. uczelni – WFTiMS
- dr hab. inż. Waldemar Magda, prof. uczelni – WILiŚ
- prof. dr hab. inż. Piotr Doerffer – WIMiO
- dr hab. inż. Marek Dzida, prof. uczelni – WIMiO
- dr hab. inż. Paweł Dymarski, prof. uczelni – WIMiO
- dr inż. Hossein Ghaemi – WIMiO
- prof. dr hab. inż. Michał Wasilczuk – WIMiO
- dr inż. Krzysztof Redlarski – WZiE

Charakteryzując obszary badawcze CMEW należy podkreślić, że zostały one określone wstępnie, tylko na podstawie posiadanego potencjału intelektualnego i laboratoryjnego. Należy je w przyszłości zweryfikować biorąc pod uwagę oczekiwania inwestorów i eksploataatorów morskich farm wiatrowych, budowanych zarówno w kraju, jak i za granicą:

### **1. Projektowanie statków specjalnych**

Politechnika Gdańska ma wieloletnie doświadczenia w zakresie projektowania statków morskich, w tym również statków specjalnych, hydrotechnicznych, przeznaczonych do transportu elementów konstrukcyjnych turbin wiatrowych oraz ich posadowienia, a także grup serwisowych obsługujących farmy wiatrowe. Naukowcy PG mogą wspierać zespoły projektowe w zakresie konsultowania proponowanych rozwiązań koncepcyjnych, weryfikacji obliczeń oraz doboru maszyn i urządzeń systemów okrętowych.

### **2. Diagnostyka układu mechanicznego i hydraulicznego turbiny wiatrowej**

Na podstawie pomiaru i analizy symptomów diagnostycznych możliwe jest opracowanie ekspertyzy stanu technicznego układu mechanicznego turbiny wiatrowej, z uwzględnieniem

<sup>4</sup> Decyzja Rektora PG z dnia 6.07.2021 r.

wyjaśnienia pierwotnych przyczyn ewentualnych uszkodzeń jego podzespołów badanych metodą wibroakustyczną. W rezultacie przeprowadzonych badań możliwe jest zaproponowanie sposobu usunięcia występujących skutków uszkodzeń, a także możliwości kontynuowania pracy układu mechanicznego turbiny wiatrowej z ograniczeniami eksploatacyjnymi.

W Politechnice Gdańskiej prowadzone są również badania naukowe w zakresie projektowania i diagnostyki układów hydraulicznych i elektryczno-hydraulicznych, w tym układów sterowania turbin wiatrowych. Wspecjalizowane zespoły badawcze dysponują zaawansowaną aparaturą pomiarową, która umożliwi wyznaczenie ich charakterystyk eksploatacyjnych.

Istnieje możliwość objęcia tego rodzaju układów funkcjonalnych turbiny wiatrowej stałym nadzorem diagnostycznym, co pozwala na wdrożenie strategii eksploatacji według stanu technicznego.

### **3. Projektowanie i diagnostyka wirnika turbiny wiatrowej**

Podstawą projektowania morskich turbin wiatrowych są obliczenia aerodynamiczne oraz analiza modalna ich wirników w oparciu o komputerowe wspomaganie projektowania i pomiarów. Po zabudowaniu turbin w morskich farmach wiatrowych i wdrożeniu do eksploatacji narażone są na oddziaływanie gwałtownych zjawisk pogodowych, takich jak gradobicie, wyładowania atmosferyczne, czy huraganowe wiatry. Może to w skrajnych wypadkach doprowadzić do uszkodzeń łopatek wirnikowych. Z tego względu w Politechnice Gdańskiej rozwijane są dodatkowo badania diagnostyczne łopatek wirnikowych metodami analizy modalnej i propagacji fal sprężystych z wykorzystaniem nowoczesnych metod przetwarzania sygnałów, w szczególności transformaty falkowej. Wykonywane są również badania wpływu wyładowań atmosferycznych na wytrzymałość kompozytowej struktury łopatek wirnikowych. Możliwe jest wówczas wczesne wykrycie pierwotnych uszkodzeń poszycia łopatek wirnikowych wskutek destrukcyjnego oddziaływania warunków atmosferycznych, które prowadzą zazwyczaj do wtórnych uszkodzeń wirnika turbiny, a nawet całego układu mechanicznego.

Diagnozowanie wirników turbin wiatrowych bez wyłączenia z ruchu realizowane jest na podstawie pomiaru i analizy generowanego sygnału akustycznego. Dokonywane są jednocześnie oceny klimatu akustycznego wokół pracującej turbiny wiatrowej na drodze monitorowania hałasu nawodnego i podwodnego (ochrona środowiska morskiego).

### **4. Kompleksowa ochrona przeciwkorozyjna wież turbin wiatrowych**

W eksploatacji morskich farm wiatrowych przeprowadza się kompleksowe kontrole i oceny skuteczności zabezpieczeń przeciwkorozyjnych wież turbin wiatrowych, w ramach systematycznie dokonywanych inspekcji powłok i anod galwanicznych. Politechnika Gdańska oferuje doradztwo w zakresie ochrony katodowej wież, doboru materiału anodowego oraz typu i liczby anod. W zakresie tym proponuje się sposoby zabezpieczenia powłokowego wież, jak również dobór powłok w zależności od warunków środowiskowych w miejscu ich eksploatacji.

### **5. Bezpieczeństwo podwodne i nawodne farm wiatrowych**

Istotnym czynnikiem procesu eksploatacji morskich farm wiatrowych jest zapewnienie ich bezpieczeństwa. Już na etapie planowania inwestycji muszą być przyjęte kompleksowe rozwiązania systemów eliminacji zagrożeń dywersyjnych (terrorystycznych), na przykład z wykorzystaniem metody obserwacji i identyfikacji zaburzeń elektromagnetycznych oraz hydroakustycznych, a także analizy obrazów optycznych. Zespoły naukowo-badawcze PG są w stanie zaoferować doradztwo i konsultacje specjalistyczne w zakresie eksploatacji systemów sonarowych oraz systemów łączności bezprzewodowej, jak również przy wyborze ich zakupu. Przy czym szczególny nacisk kładzie się na zapewnienie bezpieczeństwa i niezawodności komunikacji w tzw. systemach infrastruktury krytycznej.

### **6. Posadowienie morskich turbin wiatrowych**

W Politechnice Gdańskiej rozwijane są badania naukowe w zakresie metod mocowania różnego rodzaju konstrukcji wsporczych turbin wiatrowych w dnie morskim. Realizowane są badania modelowe i numeryczne hydromechaniki platform wież turbin wiatrowych oraz ich



posadowienia w warunkach morskich. Dokonuje się analizy stateczności i dynamiki morskich turbin wiatrowych w ekstremalnych meteorologicznie warunkach eksploatacji. Wykonuje się przy tym badania eksperymentalne oddziaływania falowania na konstrukcję wsporczą turbiny wiatrowej w basenie modelowym.

Istnieje również możliwość optycznego, akustycznego i grawimetrycznego sprawdzenia obszaru posadowienia turbin morskich farm wiatrowych. Tego typu prace realizowane są przy zastosowaniu zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych, które są od wielu lat projektowane i wykonywane według indywidualnych potrzeb użytkownika.

#### **7. Projektowanie układów magazynowania nadmiarowej energii wiatru**

Od wielu lat w Politechnice Gdańskiej prowadzone są badania naukowe procesu kogeneracji różnego rodzaju energii w złożonych systemach technicznych dla potrzeb ich projektowania i diagnostyki. W tym celu systematycznie wdraża się metody sztucznej inteligencji. Analizuje się przy tym różnorodne aspekty zastosowania turbin wiatrowych w hybrydowych systemach elektroenergetycznych. Zdobyte doświadczenia badawcze oraz dysponowany potencjał naukowy umożliwiają ich dalsze rozwinięcie w kierunku układów odzyskiwania i magazynowania nadmiarowej energii elektrycznej turbin wiatrowych: układów grawitacyjnych, cieplnych, wodorowych i sprężonego powietrza.

Specjaliści PG mogą skutecznie wspierać realizowane projekty inwestycyjne zarówno w zakresie modelowania i symulacji numerycznej procesów transformacji energii w tego rodzaju układach, jak i diagnozowania w procesie ich eksploatacji.

#### **8. Projektowanie układów regulacji mocy i przesyłu energii elektrycznej**

Kluczowym zagadnieniem projektowania morskich turbin wiatrowych jest układ regulacji zastosowanego generatora energii elektrycznej. W najnowszych rozwiązaniach zespołu elektromechanicznego turbiny stosuje się napęd bezpośredni, z wolnoobrotowym generatorem prądu wyposażonym w magnesy trwałe. Specjaliści PG realizują w tym obszarze badania naukowe, a dodatkowo oferują wsparcie merytoryczne podczas eksploatacji tego typu rozwiązań. Przewidywane są również realizacje ekspertyz przyłączeniowych oraz analizy oddziaływania morskich farm wiatrowych na krajowy system elektroenergetyczny. Analizowane przy tym będą stany ustalone, nieustalone i awaryjne w sieciach wysokiego, średniego i niskiego napięcia.

#### **9. Kształcenie kadr i zarządzanie w morskiej energetyce wiatrowej**

W obszarze dydaktycznym od dwóch lat prowadzone są w Politechnice Gdańskiej, pod patronatem Polskiego Towarzystwa Morskiej Energetyki Wiatrowej, cykliczne studia podyplomowe ukierunkowane na wykorzystywane technologie, funkcjonowanie rynków morskiej energetyki wiatrowej oraz wszystkie aspekty przygotowania i realizacji projektów morskich farm wiatrowych w polskiej wyłącznie strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego.

Istnieje również ciekawa propozycja dydaktyczna dla doświadczonych menedżerów sektora morskiej energetyki wiatrowej - studia Master of Business Administration (MBA), które dają możliwość doskonalenia kompetencji w zakresie zarządzania morskimi farmami wiatrowymi pod okiem najlepszych polskich i zagranicznych wykładowców.

Eksperti Politechniki Gdańskiej w zakresie zarządzania projektem mogą wspomóc realizowane inwestycje poprzez zastosowanie nowoczesnych metod oceny ich efektywności i analizy ryzyka. Możliwe jest również przeprowadzenie analizy i prognozy kompetencji kadry w sektorze morskiej energetyki wiatrowej oraz ekonomicznej i prawnej analizy rynku energii elektrycznej w Polsce i UE.

Biorąc po uwagę dotychczasowe aktywności Centrum Morskiej Energetyki Wiatrowej PG można wskazać ich przewidywane efekty możliwe do osiągnięcia w perspektywie kilku najbliższych lat:

1. Budowa stanowisk laboratoryjnych wspierających realizowane projekty badawcze i rozwojowe, a także proces dydaktyczny w zakresie morskiej energetyki wiatrowej;

2. Nawiązanie współpracy naukowej z uznanymi ośrodkami zagranicznymi „Offshore Wind” (uczelnie, ośrodki badawczo-rozwojowe itp.);
3. Nawiązanie współpracy specjalistycznej z inwestorami morskich farm wiatrowych budowanych w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego (wizyty techniczne i szkolenia specjalistyczne naukowców Politechniki Gdańskiej w zakładach produkujących główne komponenty morskich turbin i farm wiatrowych, zdefiniowanie oczekiwań inwestorów w stosunku do Politechniki Gdańskiej, które powinny być spójne z obszarami badawczymi Centrum MEW, nadzór naukowy na etapie planowania inwestycji, uzgadniania kontraktów oraz eksploatacji morskich farm wiatrowych);
4. Publikacje naukowe o charakterze: badawczym, technologicznym, projektowo-konstrukcyjnym, studyjnym (w najbliższej perspektywie) na temat szeroko rozumianej morskiej energetyki wiatrowej.

## Literatura

- [1] J. A. Dhanraj, Sugumaran V.: Fault diagnostic methods for wind turbine: A review. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, · Vol. 11, No. 7, April 2016.
- [2] Letcher T. M.: *Wind Energy Engineering. A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*. Academic Press. Elsevier Inc 2017.
- [3] Passon P.: *Offshore Wind Turbine Foundation Design*. Technical University of Denmark Department of Wind Energy and RAMBØLL Wind and Towers. DTU Wind Energy PhD-0044 (Doctor Thesis) 2015.
- [4] <https://pg.edu.pl/badawcza/cmew> (dostęp 12.11.2021 r.).