

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Projektowanie geometrii pływaka turbiny wiatrowej typu TLP o mocy 15MW w oparciu o obliczenia numeryczne dynamiki tego obiektu

Paweł Dymarski¹, Ewelina Ciba¹, Mirosław Grygorowicz¹

¹Institut Budowy Okrętów, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska
email: pawdymar@pg.edu.pl, ewelina.ciba@pg.edu.pl

STRESZCZENIE: niniejszy referat przedstawia metodę projektowania geometrii pływaka pływającej turbiny wiatrowej w oparciu o analizę parametryczną z użyciem programu komputerowego opartego na równaniu Morisona, modelu fali Stokesa II oraz wykorzystującego niestacjonarny model wiatru. Celem badań było opracowanie pływaka typu TLP dla turbiny wiatrowej o mocy 15MW, która miałaby zasilac platformę eksploatacyjną LOTOS Petrobaltic. W ramach prowadzonych analiz autorzy szukali rozwiązania charakteryzującego się przyspieszeniami poniżej 0.25g oraz jak najmniejszymi wartościami sił wciąganych przy zachowanej stateczności dynamicznej w skrajnych warunkach morskich. W referacie przedstawiono wyniki analizy dla 3 wariantów wysokości pontonu pływaka oraz porównanie wybranego wariantu z wynikami badań modelowych. Badania eksperymentalne wykonane były w basenie modelowym WIMiO PG.

SŁOWA KLUCZOWE: Offshore wind, pływająca turbina wiatrowa, TLP, dynamika PTW, badania modelowe

1. Wprowadzenie

Głównym celem projektu jest analiza możliwości wykorzystania wybranych typów pływających turbin wiatrowych do zasilania platformy eksploatacyjnej LOTOS Petrobaltic zainstalowanej na złożu B8. Planowaną lokalizacją instalacji turbiny wiatrowej jest wąski obszar złoża B8. Głębokość akwenu wynosi około 85 m, co obecnie wyklucza wykorzystanie konstrukcji posadowionych. Ze względu na istniejącą infrastrukturę podwodną oraz pobliskie szlaki żeglugowe wymagane jest, aby promień kotwiczenia obiektu był jak najmniejszy.

Ostatnie wymaganie zadecydowało o tym, że jako pierwszą do analiz wybrano konstrukcję TLP.

2. Cel badań

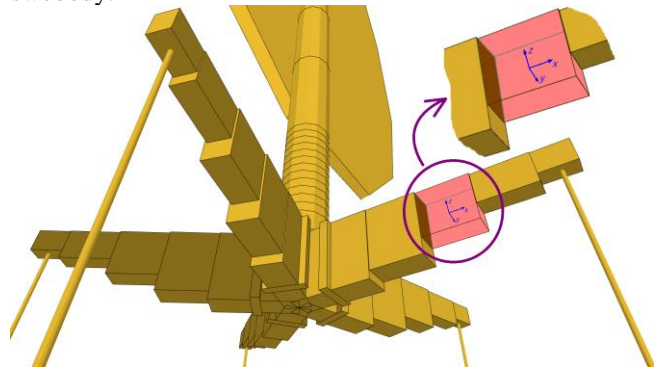
Celem badań było opracowanie koncepcji pływaka pływającej turbiny wiatrowej typu TLP (*Tension Leg Platform*) dla turbiny o mocy 15 MW [1]. Głównym założeniem projektowym – obok mocy turbiny – była głębokość akwenu wynosząca 85m (złoże B8 Lotos Petrobaltic) oraz wymagania określające maksymalny promień układu kotwiczenia. Dodatkowo założono, że maksymalne przyspieszenie poziome gondoli nie powinno przekroczyć 0.25g.

Pływająca turbina wiatrowa typu TLP była również analizowana pod względem zachowania stateczności dynamicznej, to znaczy utrzymania pozycji pionowej.

Aby określić wymiary pływaka przeprowadzono analizę parametryczną dla trzech wariantów wysokości pontonu H_p . Analizę ruchu platformy przeprowadzono dla warunków przetrwania.

3. Model obliczeniowy. Warunki obliczeń

W opracowanym modelu obliczeniowym pływającej turbiny wiatrowa typu TLP, modelowano działanie wiatru, fali oraz prądów morskich. Na podstawie wcześniejszych analiz założono, że najbardziej istotne z punktu widzenia doboru kształtu są warunki przetrwania. Dla morskich turbin wiatrowych za warunki te przyjmuje się sztorm 50. letni na danym akwenu [2]. W przypadku polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej można przyjąć następujące warunki [3]: wysokość znacząca fali $H_s=9.01m$, okres piku widma $T_p=11.3s$, prędkość wiatru $u_{w,10m}=28.2 m/s$. Fala morska jest modelowana z użyciem widma JONSWAP, w niestacjonarnym modelu wiatru wykorzystano widmo Ochi-Shin [4]. Ruch obiektu był modelowany w 6. stopniach swobody.



Rys. 1. Podział pływaka na segmenty. Lokalny układ współrzędnych - wyznaczenie sił z użyciem r. Morisona.

Siły hydrodynamiczne działające na pływak są obliczane przy użyciu równania Morisona [5,6]. Aby określić te siły, konstrukcja została podzielona na segmenty (Rys. 1), każda sekcja opisana jest takimi parametrami jak:

objętość, pole powierzchni oraz współczynnik masy towarzyszącej C_A i współczynnik siły oporu C_D . Siła hydrodynamiczna działająca na pojedynczy segment jest obliczana ze wzoru [5]:

$$F_{x,i} = \frac{1}{2} C_D \rho A_p |u-x| (u-x) + \rho V_b (1+C_A) \left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u-x) \frac{\partial u}{\partial x} \right] - \rho V_b C_A \dot{x} \quad (1)$$

gdzie: $F_{x,i}$ – składowa x siły w lokalnym układzie współrzędnych segmentu konstrukcji; C_D – współczynnik siły oporu; C_A – współczynnik masy towarzyszącej; A_p – powierzchnia rzutowana segmentu, u – składowa x prędkości wody; ρ – gęstość wody morskiej, V_b – objętość segmentu pływaka.

Siłę aerodynamiczną indukowaną na turbinie [2] wyznacza się ze wzoru:

$$T_{turb} = C_T \frac{1}{2} \rho_{air} (u_{w,hub} - x_{turb})^2 A_{turb} \quad (2)$$

gdzie: C_T – współczynnik naporu, ρ_{air} – gęstość powietrza, $u_{w,hub}$ prędkość wiatru (w osi turbiny), x_{turb} – składowa osiowa prędkości turbiny, A_{turb} – powierzchnia dysku turbiny.

Zastosowanie tak prostego wzoru na siłę aerodynamiczną jest uzasadnione, ponieważ w warunkach przetrwania wirnik się nie obraca. Ciężna układu zakotwiczenia modelowane są jako elementy liniowo sprężyste w zakresie pracy na rozciąganie, natomiast w przypadku ściskania sztywność wynosi zero.

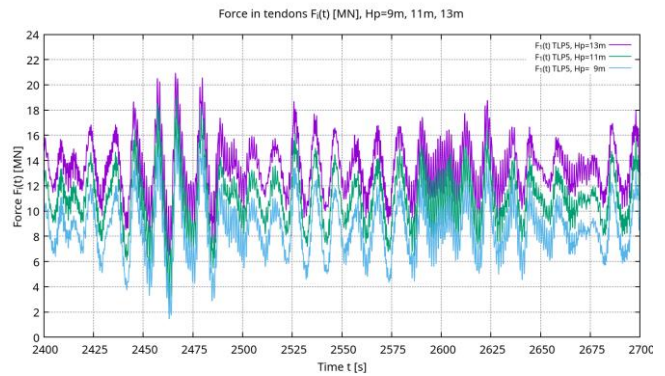
4. Model parametryczny. Wyniki obliczeń

Początkowo prowadzono analizy dla pływaka trójramiennego (opartego na koncepcji opisanej w [7]) badając wpływ takich parametrów jak: wysokość pontonu pływaka (ramion), oraz promień pontonu (czyli długość ramion). W wyniku analiz uzyskano rozwiązania charakteryzujące się dużą amplitudą ruchów oraz dużymi wartościami sił w ciężnach.

W celu zmniejszenia amplitudy ruchu opracowany został nowy typ kształtu – pływak pięcioramienny. Zwiększona liczba „ramion” spowodowała wzrost wartości masy towarzyszącej, co spowodowało przesunięcie szczytu charakterystyki amplitudowej w kierunku niższych częstotliwości. Analiza parametryczna dla tego wariantu została uproszczona. Jedynym parametrem była wysokość pontonu w centralnej części pontonu H_p . Obliczenia wykonano dla 3 wariantów: $H_p = \{9m; 11m; 13m\}$, promień kotwiczenia był taki sam dla trzech wariantów i wynosił $R_{anch} = 45m$.

Obliczenia ruchu były wykonane w dziedzinie czasu. Wyniki obliczeń: ruchy, przyspieszenia i siły w ciężnach układu kotwiczenia zostały poddane analizie widmowej, a następnie obliczone zostały amplitudy (znacząca i 1/1000) analizowanych wielkości wielkości.

Rys. 2 pokazuje porównanie sił w ciężnach pływającej turbiny wiatrowej w dziedzinie czasu w zależności od wysokości pontonu pływaka H_p . Z obliczeń otrzymano również przebieg czasowy ruchu, którego widmo zostało porównane z wynikiem prognozy krótkoterminowej opracowanej w oparciu o badania modelowe (Rys. 3).

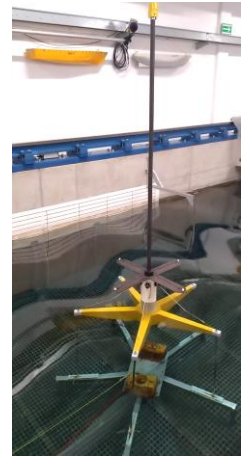


Rys. 2. Porównanie przebiegu sił w ciężnach dla trzech wariantów wysokości pontonu pływaka TLP: 13,11 i 9m

5. Badania modelowe

Badania modelowe były prowadzone w basenie WIMiO PG o wymiarach 40x4x3m. Skala Modelu wynosiła 1:50, badania były prowadzone na fali regularnej.

Na podstawie wyników badań opracowano prognozę krótkoterminową dla warunków sztormu 50. letniego. Pomiar ruchu 6DoF był wykonany za pomocą systemu optycznego QUALISYS.



Rys. 3. Badania w basenie

6. Podsumowanie

Zaprezentowana analiza obliczeniowa pływaka TLP pozwoliła na uzyskanie rozwiązania charakteryzującego się niewielkimi przyspieszeniami $<0.25g$ oraz stosunkowo niewielkimi siłami w ciężnach przy zachowaniu stateczności dynamicznej obiektu.

Praca została wykonana w ramach umowy pomiędzy LOTOS Petrobaltic S.A. a WIMiO Politechniki Gdańskiej.

Literatura

1. Evan, G., Gaertner, E., Rinker, J., Sethuraman, L., et al. (2020). „Definition of the IEA Wind 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine”, Technical Report, NREL/TP-5000-75698.
2. DNV-ST-0119. Floating wind turbine structures. DNV Standard, June 2021.
3. Dymarski, P., Ciba, E., & Marcinkowski, T. (2016). Effective method for determining environmental loads on supporting structures for offshore wind turbines. Polish Maritime Research, 23(1(89), Article 1(89).
4. Feikema, G.J., Wichers, J.E.W. (1991). The Effect of Wind Spectra on the Low-Frequency Motions of a Tanker in Survival Condition. OTC, 1991.
5. Sarpkaya, T. (2014). Wave Forces on Offshore Structures. Cambridge University Press.
6. Chakrabarti, S.K. (1994). Hydrodynamics of Offshore Structures. WIT Press.
7. Żywicki, J., Dymarski, P., Ciba, E., Dymarski, C. (2017). Design of Structure of Tension Leg Platform for 6 MW Offshore Wind Turbine Based On Fem Analysis. PMR, 24(s1), 230-241.