

Projekt i obliczenia konstrukcji typu Tension Leg Platform służącej jako konstrukcja wsporcza morskiej turbiny wiatrowej z wykorzystaniem analiz MES

J. Żywicki¹, C. Dymarski¹, P. Dymarski¹, E. Ciba¹

¹Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa
email: jedzywic@pg.gda.pl, cpdymars@pg.gda.pl, pawdymar@pg.gda.pl

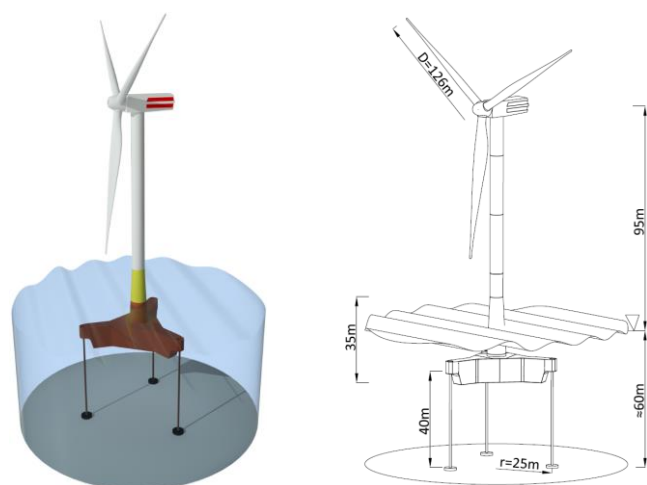
STRESZCZENIE: Praca przedstawia obliczenia oraz etapy projektowe platformy typu TLP służącej jako konstrukcja wsporcza morskiej turbiny wiatrowej przeznaczonej na duże głębokości. Przedmiotem analiz prezentowanych w artykule jest platforma TLP umożliwiająca posadowienie turbiny o mocy 6 MW. Autorzy przedstawili metodę określania obciążeń maksymalnych działających na konstrukcję (od wiatru, fali i prądów morskich), które określone zostały dla sztormu 50-cio letniego. W dalszej części pokazane zostały, krok po kroku, kolejne fazy projektowania oraz wyniki obliczeń MES dla zaprojektowanej konstrukcji. Prezentacja pokazuje problemy występujące w głównych węzłach konstrukcyjnych oraz sposoby rozwiązania tych problemów, kończy się propozycją konstrukcji spełniającej założenia projektowe jednocześnie zapewniając wytrzymałość doraźną. Praca jest częścią projektu WIND-TU-PLA z Programu Badań Stosowanych NCBiR.

SŁOWA KLUCZOWE: offshore wind turbine, TLP, support structure, FEM

1. Wstęp

Konstrukcją wsporczą będącą przedmiotem analiz prezentowanych w niniejszej prezentacji jest platforma typu Tension Leg Platform. Według założeń jest to konstrukcja wypornościowa, przeznaczona na akwen o głębokości 60 m, przytwierdzona do dna za pośrednictwem napiętych cięgien i umożliwiająca montaż turbiny o mocy 6 MW.

Z uwagi na brak w dostępnej literaturze światowej istotnych informacji dotyczących projektowania i obliczeń wytrzymałościowych tego typu konstrukcji autorzy podjęli się rozwiązania tego zadania w ramach powyższego projektu. W obliczeniach uwzględniono wszystkie istotne obciążenia obiektu, a mianowicie: – od masy własnej konstrukcji, wieży wraz turbiną, a także od sił hydrostatycznych, reakcji układu kotwiczenia oraz sił aero- i hydrodynamicznych działających na cały obiekt podczas ekstremalnych warunków eksploatacyjnych. Wizualizację modelu oraz główne założenia obrazuje poniższy rysunek 1.

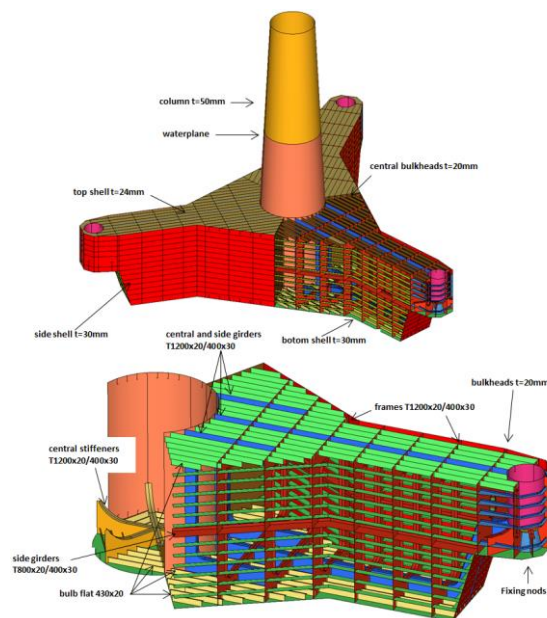


Rys. 1. Główne wymiary projektowe.

2. Opis konstrukcji wstępnej

Główną część konstrukcji stanowi podwodny trójramienny kadłub z centralnie umieszczoną kolumną, do której zostaje przytwierdzona wieża turbiny wiatrowej.

Zanurzenie konstrukcji wynosi 20m. Wysokość kadłuba części regularnej platformy wynosi 10 m. Na końcach ramion oddalonych o 25 m od osi kolumny głównej znajdują się węzły mocowania cięgien, za pomocą których platforma zostaje przytwierdzona do dna. Stożkową kolumnę o średnicy podstawy równej 8m zakończono kołnierzem mocującym o średnicy 5,5m na wysokości 15m nad poziomem powierzchni swobodnej akwenu. Całość wykonana jest ze stali. Masa wstępnego wariantu platformy wynosi 1430t. Na poniższym rysunku pokazano układ usztywnień wraz z wyszczególnieniem grubości poszczególnych elementów konstrukcyjnych.



Rys. 2. Wstępny wariant konstrukcyjny.

3. Obciążenia i warunki pracy konstrukcji wsporczej

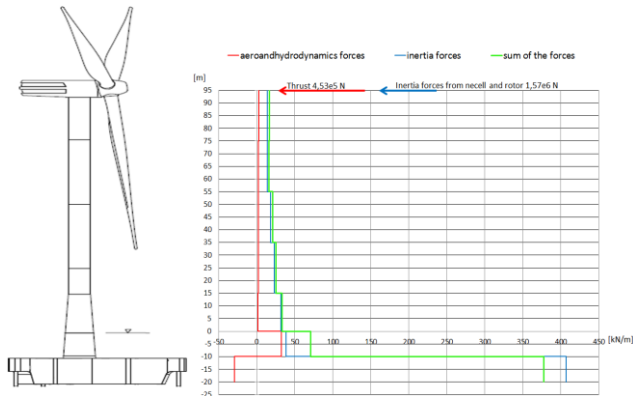
Prezentowane wyniki poszczególnych symulacji otrzymano dla przedstawionych poniżej założeń. Jak już wcześniej wspomniano zakładamy, że konstrukcja zostanie zakotwiczona na obszarze Morza Bałtyckiego na głębokości 60 m.

Obciążenia konstrukcji pochodzące od warunków środowiskowych zostały uzyskane na podstawie symulacji hydromechanicznej uwzględniającej najgorsze warunki odpowiadające „sztormowi 50 letniemu na Morzu Bałtyckim”. Na podstawie symulacji hydromechanicznej wyznaczono przebieg poziomego obciążenia pochodzącego od prądów i falowania morza oraz wiatru w funkcji wysokości obiektu.

Znaczącym czynnikiem mającym wpływ na obciążenia jest przyspieszenie ruchu poziomego konstrukcji na skutek oddziaływania środowiska (siły aero i hydrodynamiczne) oraz wynikające z sił działania układu kotwiczenia.

Ciśnienie hydrostatyczne wody morskiej działa na konstrukcję w zakresie od +10 m od poziomu średniego lustra wody (grzbiet fali) do dna konstrukcji ($z = -20$ m).

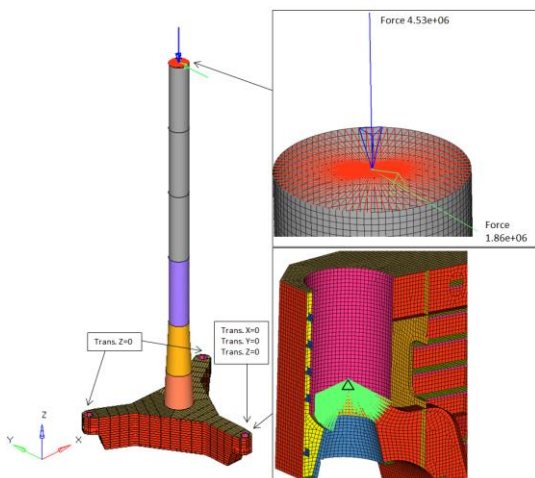
Dodatkowo na poniższym rysunku zaznaczono siły pochodzące od naporu turbiny oraz od siły bezwładności (na skutek przyspieszeń poziomych) działających na masy gondoli i wimika, które zostały w dalszym etapie przyłożone punktowo do modelu.



Rys. 2. Obciążenie ciągle działające na danej wysokości.

4. Model dyskretny

Model powierzchniowy konstrukcji przedstawionej na rysunku 2 został utworzony w programie Autodesk Inventor. Na jego podstawie zbudowano model MES wykorzystując preprocesor HyperMesh.



Rys. 3. Model dyskretny

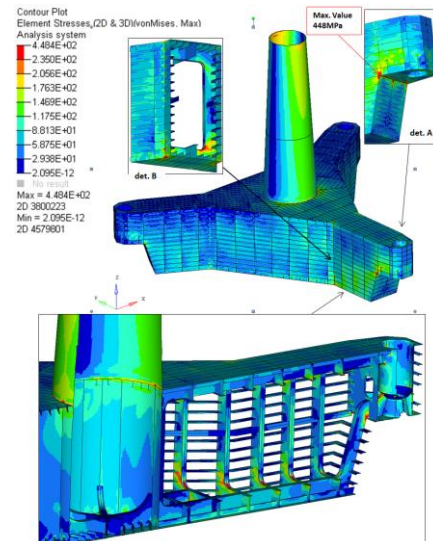
Kadłub wraz z elementami konstrukcji wewnętrznej został pokryty elementami powłokowymi pierwszego rzędu. Użyto elementy czworokątne i trójkątne o średniej wielkości wynoszącej 90 mm.

5. Model materiałowy.

Przyjęto liniowo-sprężysty model materiału o następujących własnościach: $E = 210$ GPa, $\nu = 0.3$, $\rho = 7860$ kg/m³.

6. Obliczenia wytrzymałości konstrukcji wstępnej

Obliczenia na podstawie wstępnego wariantu konstrukcji, która została zgrubnie zwymiarowana na rysunku 2, miały za zadanie wskazanie newralgicznych węzłów zaproponowanej konstrukcji. W dalszym etapie wykonano kolejne kroki projektowe i obliczenia mające na celu optymalizację konstrukcji.



Rys. 4. Naprężenia zredukowane. [MPa]

7. Podsumowanie i wnioski

Prezentacja dotyczy aktualnych, a jednocześnie bardzo istotnych i złożonych zagadnień związanych z projektowaniem morskich obiektów pod elektrownie wiatrowe dużej mocy. Autorzy osiągnęli zamierzony cel i zaprojektowali pływającą konstrukcję wsporczą spełniającą założone wymagania jednocześnie zapewniając wytrzymałość doraźną. Należy przy tym zaznaczyć, że w powyżej 80% masy konstrukcji zastosowano stal kadłubową zwykłej wytrzymałości.

Kolejnym krokiem projektowym związanym z powyższą konstrukcją będą obliczenia zmęczeniowe.

Analizy Mes zostały wykonane za pomocą oprogramowania HyperWorks, którego producentem jest firma Altair. Obliczenia przeprowadzono korzystając z licencji zainstalowanej w Centrum Informatyczne Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej TASK.

Badania przedstawione w niniejszym artykule zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju NCBR w ramach projektu o akronimie "WIND-TU-PLA", program ERA-NET MARTEC II (nr umowy MARTECII/1/2014).

Literatura

- [1] Żywicki J., Dymarski C., Dymarski P., : Design and strength calculations of the tripod support structure for offshore wind power plant. Polish Maritime Research 01/2015
- [2] Dymarski P., Ciba E., Marcinkowski T.: Effective method for determining environmental loads on supporting structures for offshore wind turbines, Polish Maritime Research, No. 1 (89) 2016, vol. 23.