

Analiza drgań własnych konstrukcji małej turbiny wiatrowej

Michał Tomaszewski¹, Jerzy Małachowski¹, Krzysztof Damaziak¹

¹Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: jerzy.malachowski@wat.edu.pl, michał.tomaszewski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Małe turbiny wiatrowe w porównaniu do jej większych odpowiedników poruszają się z dużo większą prędkością obrotową, która skutkuje większym wyężeniem elementów konstrukcji oraz prowadzi do zwiększenia wartości ugięcia łopaty wirnika. Bardzo ważnym zagadnieniem z inżynierskiego punktu widzenia jest określenie częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Znajomość tego typu drgań pozwala określić przy jakiej częstotliwości wymuszenia dochodzi do zjawiska rezonansu. W pracy przedstawiono etapy budowy modelu numerycznego małej turbiny wiatrowej, który następnie został wykorzystany do przeprowadzenia analizy modalnej. W trakcie analizy modyfikowano cechy geometryczne wybranych komponentów turbiny oraz określano wpływ ich zmiany na częstotliwość drgań własnych konstrukcji. Analizowaną konstrukcją była mała turbina wiatrowa w skali 1:2, której prototyp jest przewidziany do testowania w rzeczywistych warunkach pracy. W referacie przedstawiono również sposób przeprowadzenia uproszczeń modelu geometrycznego mając na względzie jego dyskretyzację.

SŁOWA KLUCZOWE: analiza modalna, MES, turbina wiatrowa, energetyka wiatrowa

1. Wstęp

Zjawisko rezonansu polega na nagłym, niekontrolowanym zwiększeniu się amplitudy drgań w skutek zrównania się częstotliwości drgań własnych z częstotliwością wymuszenia. Metody komputerowe stanowią bardzo przydatne narzędzie przy analizowaniu tego typu zagadnienia. Każda konstrukcja, posiada swoje własne częstości drgań, które należy omijać podczas jej projektowania. W literaturze jest bardzo dużo przypadków, w których zjawisko to spowodowało bardzo duże szkody m.in. katastrofa mostu w Tacoma czy też Second Narrows w Kanadzie. Turbina jako konstrukcja, która będzie użytkowana w bliskim otoczeniu człowieka musi również być tak zaprojektowana, aby nie doszło do uszkodzenia spowodowanego właśnie tego typu zjawiskiem.

Aby przeprowadzić analizę należy określić w jakim przedziale prędkości łopata turbiny będzie pracować. W analizowanej konstrukcji zamontowana jest łopata, której współczynnik szybkobieżności wynosi $TSR=6$. Dla takiej wartości współczynnika łopata osiąga największą sprawność dla prędkości wiatru równej 12 m/s (43,2km/h). Pierwszą czynnością, którą należy wykonać jest obliczenie prędkości kątowej, z którą będzie się ona poruszać wg wzoru (1).

$$\omega = \frac{\lambda \cdot u}{l} = 6 \cdot \frac{12}{0.5} = 144 \frac{rad}{s} = 1375,1 \frac{obr}{min} \quad (1)$$

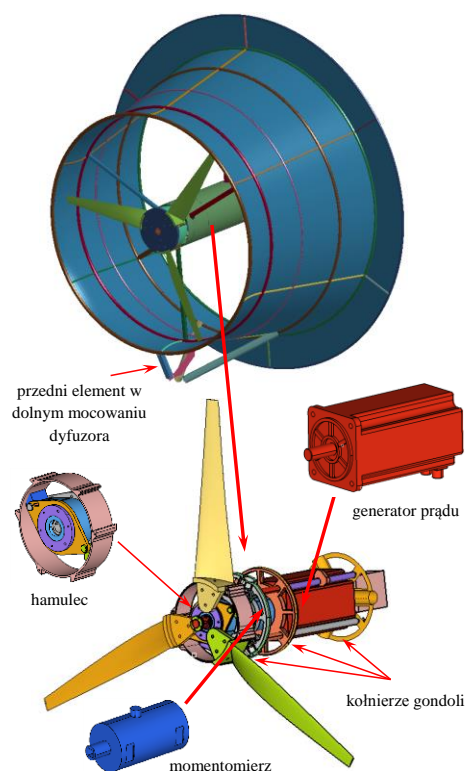
gdzie: λ - wyróżnik szybkobieżności dla zastosowanej konstrukcji łopaty, u - prędkość napływającego wiatru, l - promień omiatania

2. Obiekt badań

Obiektem badań jest mała turbina wiatrowa wyposażona w dyfuzor. Wszystkie komponenty wchodzące w skład układu elektrycznego takie jak: momentomierz oraz generator prądu znajdują się w gondoli umieszczonej w osi obrotu łopat. Model geometryczny reprezentujący konstrukcję turbiny został przedstawiony na rys. 1.

Większość elementów była wykonana z materiału aluminium. Ze stali zostały wykonane pręty łączące kołnierze gondoli oraz przedni element w dolnym

mocowaniu dyfuzora. Najważniejszymi elementami ze względu na wytrzymałościowych jest tzw. rama gondoli, która utrzymuje wszystko w całości ze sobą. Ramę stanowią odpowiednio zaprojektowane kołnierze do których przykręcane są główne rury mocujące gondole z szkieletem dyfuzora. W konstrukcji zostały zastosowane dwa główne kołnierze montażowe oraz jeden pomocniczy, który ma za zadanie usztywnić konstrukcję.



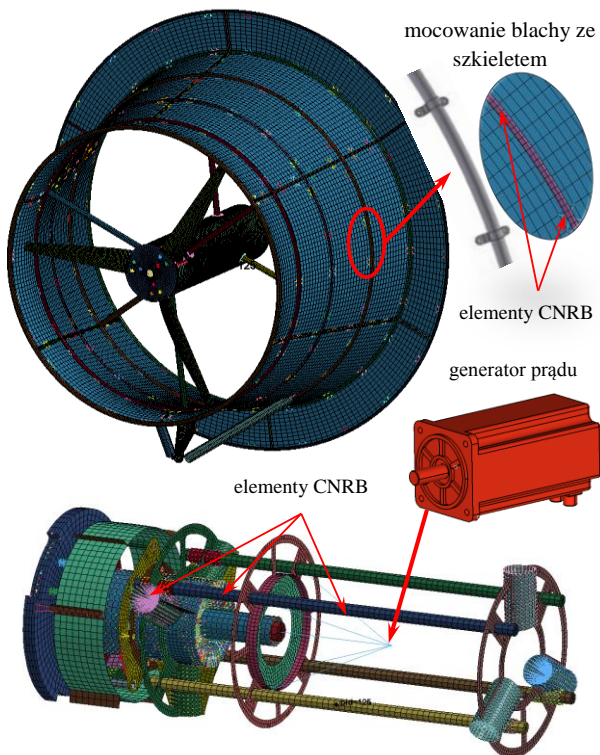
Rys. 1. Geometria turbiny

3. Model numeryczny

Model CAD dyfuzora i gondoli zaimportowano do środowiska HyperMesh w którym przeprowadzono uproszczenie geometrii. Dla wszystkich elementów rurowych i powłokowych stworzone zostały krawędzie i płaszczyzny środkowe, które następnie poddane zostały

procesowi dyskretyzacji. Wszystkie pozostałe elementy zostały zamodelowane jako elementy typu belkowego, dla których zdefiniowano geometrie przekroju zgodnie z modelem geometrycznym.

Połączenia pomiędzy różnego rodzaju elementami takimi jak blacha – szkielet, szkielet – wzmocnienia, mocowanie – szkielet, piasta - rury zostały zrealizowane przy pomocy różnego rodzaju więzów kinematycznych. Powłokę dyfuzora modelowano przy użyciu pełnocalkowalnych elementów powłokowych. Analizy przeprowadzono w środowisku LS-Dyna. Całkowita liczba elementów, z których zbudowany był model, wynosiła 74591 (rys.2). Większe elementy takie jak: momentomierz czy generator prądu zostały uproszczone. Uproszczenie polegało na zastąpieniu całego elementu masą skupioną charakteryzującą się odpowiednimi momentami bezwładności. Następnie tak utworzona masa została połączona w odpowiednich miejscach przy użyciu związków kinematycznych. Związki kinematyczne zostały również użyte przy połączeniach poszczególnych prętów z kołnierzami oraz przy odwzorowywaniu śrub. Model został utwierdzony poprzez odebranie odpowiednich stopni swobody dolnym węzłom podstawy.



Rys. 2. Model numeryczny turbiny

4. Metoda rozwiązania

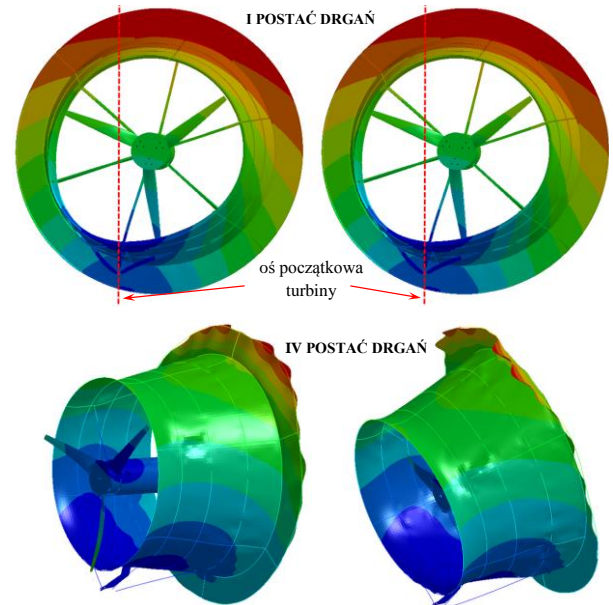
Sformułowany problem został rozwiązany przy użyciu pakietu obliczeniowego Ls-Dyna. Przeprowadzona została analiza modalna w celu uzyskania wartości drgań własnych konstrukcji. Wartości te są wyznaczone na podstawie poniższego równania [1,2]:

$$([K] - \omega^2[M])\phi = 0 \quad (1)$$

gdzie: $[K]$, $[M]$ – macierz sztywności i masy, ω – częstość własna, ϕ -wektor formy własnej.

5. Wyniki analizy

W wyniku analizy uzyskano postacie deformacji (przeskalowane $10\times$ - rys.3). Wartości dla 5 częstości oraz odpowiadające im prędkości obrotowe zostały zestawione w Tabela 1. Liczba postaci była związana z granicą 1375,1 obr/min, która określała interesujący przedział analizowanych wartości. Na podstawie przeprowadzonych analiz można było wybrać element konstrukcyjny, który będzie miał największy wpływ na częstości drgań (rury łączące gondolę z dyfuzorem). Elementy te zostały przeskalowane z początkowego wymiaru 10×2 na wymiar 15×2 (kolumna f2, Tabela 1).



Rys. 3. Deformacja turbiny dla wybranych postaci drgań

Tabela 1. Zestawienie częstotliwości drgań własnych

Postać	f [Hz]	f2 [Hz]	n	n2
			[obr/min]	[obr/min]
I	5.68	5.46	340.61	327.62
II	9.93	9.86	596.53	591.47
III	21.67	20.27	1300.08	1216.09
IV	23.67	22.24	1422.42	1334.61
V	26.50	25.91	1591.80	1554.64

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono analizę częstości drgań własnych dla prototypowej konstrukcji turbiny wiatrowej. Dzięki wykonanym badaniom numerycznym wykazano, które elementy należy modyfikować aby zmniejszyć bądź zwiększyć częstotliwość drgań by spełnić wymagania projektowe.

Praca została wykonana w ramach projektu STOW (Small Wind Turbine Optimized for Wind Low Speed Conditions) w ramach the Polish-Norwegian Research Programme w latach 2013-2016.

Literatura

- [1] Benson J.D i in., Modal methods for transient dynamic analysis in LS-DYNA, 7th International LS-DYNA User Conference.
- [2] Hallquist J. O., *LS-DYNA. Keyword User's Manual*, V971 R4 Beta, LSTC Co., CA, USA 2009.