

OPTIMALIZACJA WŁASNOŚCI DYNAMICZNYCH ŁOPATY ELEKTROWNI WIATROWEJ

Mariola JURECZKO*

* Katedra Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska ul. Konarskiego 18 A, 44-100 Gliwice

Mariola.Jureczko@polsl.pl

Streszczenie: W artykule tym omówiono pakiet programów komputerowych do minimalizacji własności dynamicznych łopaty elektrowni wiatrowej. Ważnym aspektem efektywności przeprowadzonych badań było opracowanie odpowiedniego sposobu wymiany danych i wzajemnej współpracy pomiędzy komercyjnym oprogramowaniem ANSYS® oraz oprogramowaniem autorskim. Model numeryczny łopaty opracowany w programie ANSYS® wykorzystywany był podczas procesu optymalizacyjnego, co zapewniało dużą dokładność wyznaczanych własności wytrzymałościowych i dynamicznych modelu łopaty. Proces optymalizacyjny przeprowadzono w autorskim oprogramowaniu realizującym zmodyfikowany algorytm genetyczny. Do analizy efektywności przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych wykorzystywany był model numeryczny o zredukowanej liczbie stopni swobody. Do porównania własności dynamicznych modelu przed i po kondensacji użyto kryterium MAC.

1. WPROWADZENIE

Własności dynamiczne konstrukcji można określić przeprowadzając analizę modalną na drodze teoretycznej bądź eksperymentalnej. Analizę tę przeprowadza się zarówno w celu optymalizacji układów rzeczywistych jak i ich diagnostyki. Teoretyczną analizę modalną realizuje się wykorzystując metodę elementów skończonych do opracowania modelu numerycznego konstrukcji (Zienkiewicz O. C. i Taylor R. L., 2000). Po przeprowadzeniu teoretycznej analizy modalnej na modelu numerycznym układu rzeczywistego można przeprowadzić optymalizację własności dynamicznych konstrukcji pod kątem minimalizacji amplitudy drgań układu. Optymalizacji tej można dokonać poprzez modyfikację cech konstrukcyjnych układu bądź modyfikację własności materiałowych, bądź też na drodze modyfikacji obciążenia układu.

Celem badań przedstawionych w artykule było zminimalizowanie amplitudy drgań łopaty elektrowni wiatrowej obciążonej siłami masowymi i aerodynamicznymi. Obciążenie to wyznaczono na podstawie zmodyfikowanej metody Blade Element Momentum Theory (Hansen Martin O. L., 2002). A zatem należało rozpocząć badania od zastąpienia modelu fizycznego łopaty elektrowni wiatrowej modelem numerycznym.

Wiadomo, że na dokładność rozwiązania uzyskanego w wyniku optymalizacji istotny wpływ ma dokładność odzwierciedlenia w modelu numerycznym tych parametrów układu rzeczywistego, które w sposób znaczący wpływają na jego własności dynamiczne. A zatem aby przeprowadzone obliczenia optymalizacyjne cechowały się

dużą dokładnością opracowano złożony model numeryczny łopaty elektrowni wiatrowej. Podejście to pozwoliło na uwzględnienie w sposób jawny najważniejszych parametrów decydujących o dynamice rozważanego układu.

Złożony model numeryczny łopaty, wykorzystywany podczas obliczeń optymalizacyjnych, okazał się zbyt rozbudowany do celów przeprowadzenia analiz dynamicznych, mających na celu porównanie charakterystyk dynamicznych łopaty o cechach geometrycznych zaczerpniętych z literatury oraz uzyskanych z obliczeń optymalizacyjnych. Przeprowadzenie powyższych analiz w stosunkowo krótkim czasie umożliwiło zastosowanie uproszczonego modelu numerycznego łopaty. W tym celu przeprowadzono kondensację opracowanego modelu numerycznego łopaty, przy wykorzystaniu metody redukcji liczby stopni swobody (Guyan R. J., 1965). Metoda ta jest zaimplementowana w programie Ansys®. Następnie dokonano za pomocą kryterium MAC (Heylen W. I inni, 1997; Ewins D. J., 2000), porównania zgodności własności dynamicznych modelu strukturalnego łopaty z modelem zredukowanym.

2. SFORMUŁOWANIE ZAGADNIENIA OPTIMALIZACJI

Ważnym zadaniem procesu optymalizacji układów rzeczywistych jest przede wszystkim zapewnienie odpowiednich charakterystyk dynamicznych. A zatem jako cel optymalizacji przyjęto minimalizację amplitudy drgań łopaty elektrowni wiatrowej, realizowaną poprzez modyfikację jej cech geometrycznych.

Po przeprowadzeniu studium dotyczącego ustalenia jakie parametry konstrukcji wpływają w znaczący sposób na jej własności dynamiczne, co szerzej opisano w (Jureczko M., 2006; Mężyk A. i Jureczko M., 2006), jako funkcję celu przyjęto funkcję będącą sumą ważoną wartości dwóch najważniejszych kryteriów, tj. minimalizacji masy i minimalizacji przemieszczenia końcówki łopaty:

$$\min_{\mathbf{x} \in \Omega} f_c(\mathbf{x}) = w_i \cdot M + w_k \cdot U_{TIP} \quad (1)$$

p.o. $h_j(\mathbf{x}) \leq 0$ dla $j = 1, \dots, n$

gdzie:

Ω – obszar możliwych rozwiązań w przestrzeni obiektów, \mathbf{x} – macierz kolumnowa zmiennych projektowych, $f_c(\mathbf{x})$ – stworzona funkcja celu, będąca sumą ważoną wybranych kryteriów, $h_j(\mathbf{x})$ – funkcje ograniczeń nierównościowych, \mathbf{w} – macierz kolumnowa wag poszczególnych funkcji kryterialnych, taka że $w_{i,k} \in [0,1]$ oraz $(w_i + w_k) = 1$, $M = m/m_{dop}$ – znormalizowana funkcja kryterialna reprezentująca masę łopaty, $U_{TIP} = u/u_{dop}$ – znormalizowana funkcja kryterialna reprezentująca przemieszczenie końcówki łopaty, m_{dop} – dopuszczalna masa łopaty, u_{dop} – dopuszczalne przemieszczenie końcówki łopaty.

Macierz kolumnowa przyjętych zmiennych projektowych przedstawia się następująco:

$$\mathbf{x}^T = [x_1, x_2, x_3, x_4] \quad (2)$$

gdzie:

x_1 – grubość żeber, x_2 – grubość dźwigara, x_3 – liczba żeber usztywniających, x_4 – rozmieszczenie żeber usztywniających.

Pozostałe kryteria jakie muszą zostać spełnione przy projektowaniu łopat elektrowni wiatrowych, tj.:

- spełnienie odpowiednich warunków wytrzymałościowych konstrukcji,
- zapewnienie stateczności lokalnej i globalnej konstrukcji,
- rozdzielenie częstości drgań własnych od częstości drgań harmonicznnych związanych z obrotem wirnika,
- rozdzielenie częstości drgań własnych od częstości odrywania się wirów Karmana,
- zapewnienie minimalnego kosztu materiału, wyrażono w postaci ograniczeń nierównościowych.

Badania optymalizacyjne prowadzono z wykorzystaniem autorskiego programu komputerowego, napisanego w programie Delphi, realizującego zmodyfikowany algorytm genetyczny (Arabas J., 2001). Opracowany program komputerowy współpracuje z programem Ansys®, w którym tworzony jest model numeryczny łopaty.

3. MODEL NUMERYCZNY OPTYMALIZOWANEGO UKŁADU

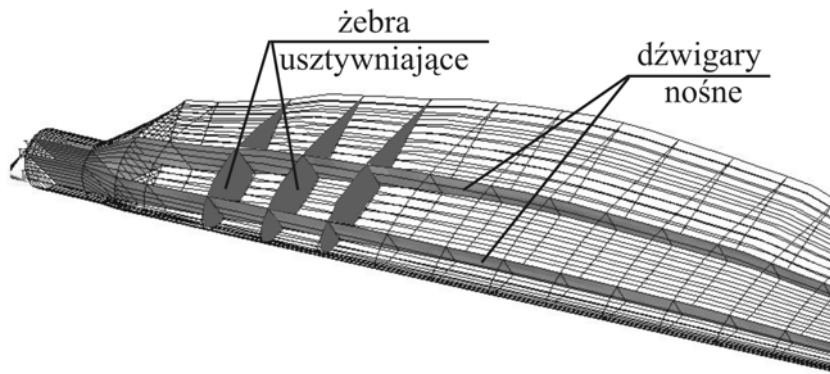
Chcąc przeprowadzić teoretyczną analizę modalną łopaty elektrowni wiatrowej zastąpiono model fizyczny łopaty elektrowni wiatrowej jej modelem numerycznym. Przy ustalaniu uproszczonego modelu numerycznego uwzględniono wszystkie parametry, które w sposób znaczący wpływały na własności dynamiczne rozpatrywanej konstrukcji (Guyan R. J., 1965).

Model numeryczny łopaty elektrowni wiatrowej o cechach geometrycznych wyznaczonych na podstawie zmodyfikowanej metody Blade Element Method (Hansen Martin O. L., 2002), został opracowany przy wykorzystaniu komercyjnego oprogramowania metody elementów skończonych Ansys®, poprzez opracowanie wsadowego pliku parametrycznego w języku APDL. Model ten posiadał ok. 50 000 stopni swobody, składał się z ponad 12 000 elementów skończonych typu powłokowego oraz posiadał ok. 10 000 węzłów. W modelu tym wyselekcjonowano trzy zasadnicze elementy konstrukcyjne łopaty, tj. powłokę, dźwigar oraz żebra. Umożliwiło to zadanie im różnych własności materiałowych oraz analizę dynamiczną i stereomechaniczną zarówno całego modelu łopaty, jak i jej poszczególnych elementów konstrukcyjnych. Jako elementy skończone przyjęto powłokę 8-węzłową o 6 stopniach swobody, co umożliwiło zamodelowanie kompozytu. Definiując geometrię zastosowanego elementu skończonego zadaje się średnią lub dowolną grubość poszczególnych warstw materiałowych w każdym węźle, kąt ukierunkowania własności materiałowych poszczególnych warstw oraz własności ortotropowe materiałów, z jakich wykonane są poszczególne warstwy.

Na rys.1 przedstawiono częściowy widok struktury zewnętrznej modelu numerycznego łopaty elektrowni wiatrowej. Natomiast na rys.2 przedstawiono jej strukturę wewnętrzną.



Rys. 1. Model strukturalny powłoki łopaty



Rys. 2. Model strukturalny łopaty z zaznaczeniem wyselekcjonowanych elementów

4. DOBÓR MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Jak już wcześniej wspomniano w modelu numerycznym łopaty wyselekcjonowano trzy elementy, dla których przyjęto różne własności materiałowe. Założono, iż żebra oraz dźwigar wykonane są z laminatu o n warstwach kompozytu włóknistego szkło – epoxy, o ortotropowych własnościach mechanicznych, przy czym poszczególne warstwy zorientowane są $\pm 45^\circ$. Do obliczeń przyjęto dane materiałowe zaczerpnięte z publikacji Tita V., i inni, 2001. Ponieważ grubość żeber i grubość dźwigara to przyjęte zmienne projektowe w procesie optymalizacji, to liczba warstw kompozytu uzależniona została od wyznaczonych wartości zmiennych projektowych, i mogła wynosić od 10 do 28.

Natomiast dobierając materiał na poszycie, stworzono laminat składający się z 7 warstw różnych kompozytów: żelkot, laminat włókien szklanych rozmieszczonych przypadkowo w osnowie epoxy, laminat włókien szklanych rozmieszczonych trójosiowo CDB340 w osnowie epoxy, balsa, laminat włókien szklanych A260 rozmieszczonych trójosiowo w osnowie epoxy, balsa, laminat włókien szklanych rozmieszczonych trójosiowo CDB340 w osnowie epoxy. Do obliczeń przyjęto dane materiałowe zaczerpnięte z publikacji Griffina D. A., (2002).

Grubości warstw z żelkotu i laminatu włókien szklanych rozmieszczonych przypadkowo w osnowie epoxy przyjęto na podstawie posiadanych danych produkcyjnych. Natomiast grubości warstw balsy wynosiły odpowiednio 0.75% oraz 1.5% ciężkiwu profilu łopaty w wyselekcjonowanym segmencie aerodynamicznym.

Grubość warstwy włókien A260 rozmieszczonych trójosiowo przyjęto jako 2% wartości stanowiącej zależność wysokości łopaty do jej szerokości. Dzięki temu założeniu grubość poszycia zmienia się proporcjonalnie wzdłuż rozpiętości łopaty, tj. poszycie jest najgrubsze przy nasadzie łopaty, (gdzie występują największe obciążenia) a najcieńsze przy jej końcówce. Odpowiada to rozwiązaniom konstrukcyjnym stosowanym w rzeczywistości.

Grubość warstwy laminatu CDB340 dobrano na podstawie obliczeń numerycznych.

5. REDUKCJA LICZBY STOPNI SWOBODY W MODELU NUMERYCZNYM ŁOPATY ELEKTROWNI WIATROWEJ

Struktura modelu numerycznego odzwierciedlającego układ rzeczywisty opisywana jest za pomocą macierzy bezwładności, sztywności i tłumienia, których rozmiar uzależniony jest m.in. od liczby przyjętych elementów skończonych (ściślej mówiąc od liczby stopni swobody układu). A zatem opracowanie modelu o dużej liczbie stopni swobody wiąże się z koniecznością przeprowadzenia długotrwałych obliczeń numerycznych, w celu rozwiązania zadania, opisującego stany dynamiczne modelowanego układu. Dlatego też złożony model numeryczny łopaty wykorzystany został jedynie do procesu optymalizacyjnego, co zapewniło dużą dokładność wyznaczania własności wytrzymałościowych i modalnych modelu (Jureczko M., 2006). Natomiast w celu przeprowadzenia symulacji numerycznych zjawisk dynamicznych łopaty elektrowni wiatrowej o cechach geometrycznych zaczerpniętych z literatury oraz uzyskanych z optymalizacji zastosowano model uproszczony. W tym celu przeprowadzono kondensację modelu przy wykorzystaniu metody redukcji liczby stopni swobody Guyana (Guyan R. J., 1965; Duda S., 2004).

W tab. 1 porównano własności dynamiczne modelu przed i po kondensacji, wyznaczając wartości kryterium MAC z zależności:

$$MAC(t, k) = \frac{\left| \sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_t)_i \cdot (\mathcal{G}_k)_i \right|^2}{\left\{ \left(\sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_t)_i^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_k)_i^2 \right) \right\}} \quad (3)$$

gdzie:

\mathcal{G}_t - wektor wartości własnych złożonego modelu,

\mathcal{G}_k - wektor wartości własnych modelu po redukcji stopni swobody,

oraz błąd poszczególnych częstości własnych, korzystając ze wzoru:











$$\delta f_i = \frac{|f_t^i - f_k^i|}{f_t^i}, \quad (4)$$

gdzie:

f_t^i – i-ta częstotliwość drgań własnych układu bez kondensacji, f_k^i – i-ta częstotliwość drgań własnych układu po kondensacji.

Technikę doboru węzłów nadrzędnych, zwanych węzłami typu master, modelu numerycznego łopaty opisano w pracy Jureczko M., (2006).

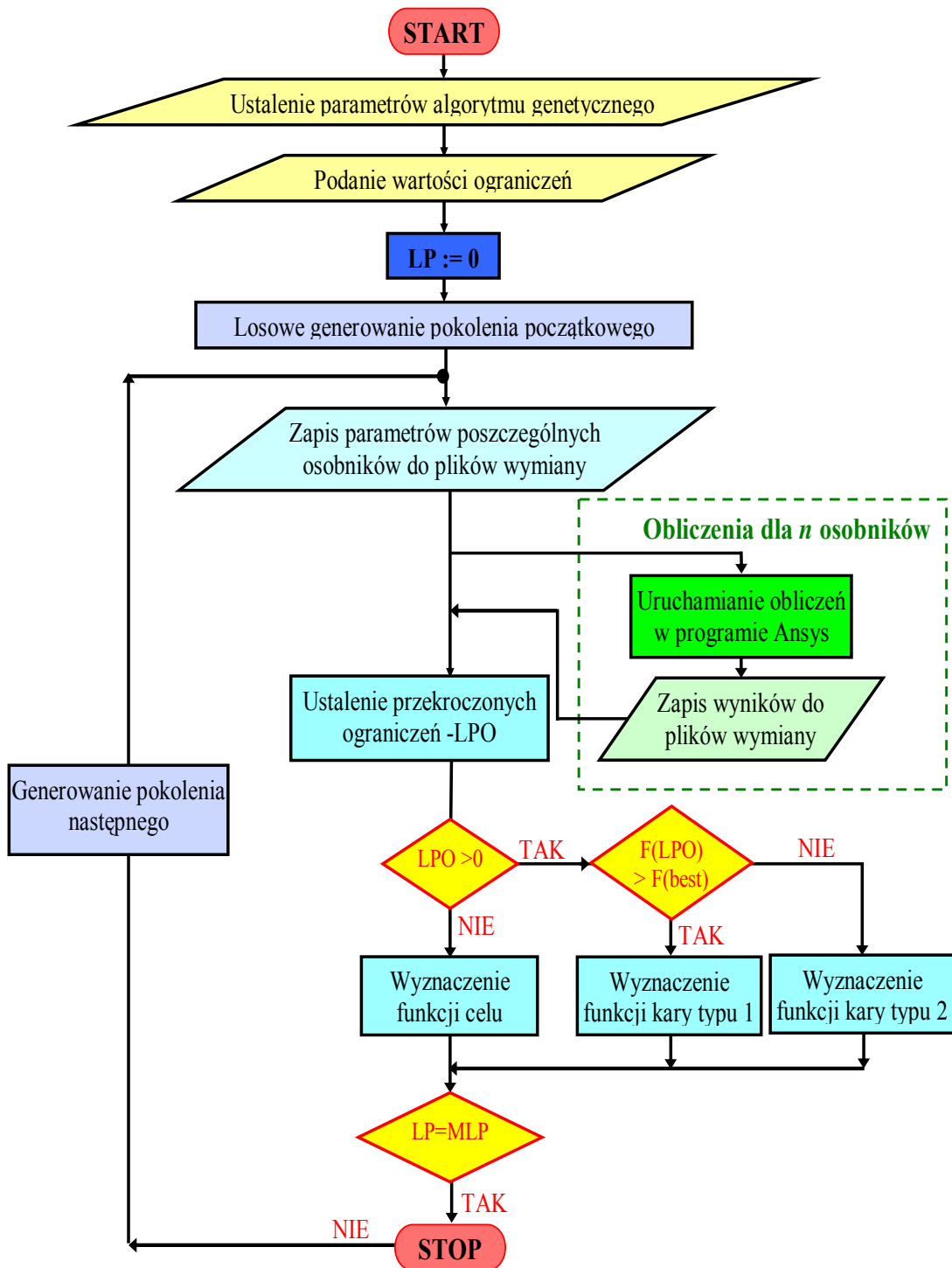
Tab. 1. Porównanie własności dynamicznych modelu przed i po kondensacji

nr postaci drgań	Model bez kondensacji	Model po kondensacji	Kryterium MAC	δf [%]
1	 0.27666	 0.27839	1	0,6
2	 1.016254	 1.07095	0.9972	5
3	 1.1331	 1.1562	0.9996	2
4	 2.5354	 2.58234	0.9997	1,9
5	 3.7642	 3.782734	0.9989	0,5

Analizując uzyskane wartości kryterium MAC oraz błędy wyznaczenia poszczególnych wartości częstotliwości drgań własnych modelu po redukcji liczby stopni swobody, można stwierdzić, że uzyskany model o zredukowanej liczbie stopni swobody, wynoszącej 96, w pełni odzwierciedla własności dynamiczne modelu przed kondensacją. A zatem może zostać zastosowany do analizy uzyskanych wyników, tj. porównania własności dynamicznych modelu łopaty przed i po optymalizacji.

6. POŁĄCZENIE KOMERCYJNEGO OPROGRAMOWANIA ANSYS Z AUTORSKIM PROGRAMEM

Na rys. 3 przedstawiono zasadę działania autorskiego programu OLEW v.1.7 w postaci schematu blokowego. Na schemacie tym zastosowano następujące symbole: *MLP* - maksymalna liczba pokoleń; *LP* - liczba pokoleń.



Rys. 3. Schemat blokowy przedstawiający zasadę działania autorskiego programu OLEW v.1.7

Autorski program komputerowy OLEW v.1.7 realizujący zmodyfikowany algorytm genetyczny, współpracujący z programem Ansys®, w którym tworzony jest model numeryczny łopaty przy użyciu pliku parametrycznego napisanego w języku APDL, został napisany w środowisku programowania Delphi. W podmenu OPCJE menu głównego autorskiego

programu znajduje się zakładka 'ustawienia', w której należy podać m.in. ścieżki dla:

- parametrów wyjściowych, czyli plików tworzonych przez program OLEW v.1.7, będących plikami wejściowymi do pliku parametrycznego tworzącego model numeryczny łopaty w Ansysie® – katalog wyjściowy;

- parametrów wejściowych, czyli plików wynikowych z Ansysa®, będących plikami wejściowymi do programu OLEW v.1.7 – katalog wejściowy; biblioteki wzorców, czyli plików, w których zapisane są wyniki wcześniejszych obliczeń. Program OLEW v.1.7 korzysta z nich, jeśli ma rozwiązać zadanie z parametrami, dla których już wcześniej tych obliczeń dokonywał, a które nie zależą od zjawisk stochastycznych. Skraca to wydatnie czas obliczeń. Należy przy tym podkreślić, iż podczas opracowywania biblioteki wzorców problemowa jest konieczność dokładnego opisu parametrów algorytmu, którym odpowiada dany wynik;
- skryptów uruchamiających obliczenia w programie Ansys®: pliku wsadowego, który uruchamia plik ansys.exe.

Przed przystąpieniem do obliczeń za pomocą autorskiego programu OLEW v.1.7 należy jeszcze określić rodzaj współpracy pomiędzy tym programem a programem Ansys®. Współpraca ta może następować na dwa sposoby:

- Każdy program działa samodzielnie, tzn. programy komunikują się poprzez ścieżki plików wejściowych lub wyjściowych. Obliczenia w programie Ansys® rozpoczną się dopiero wówczas, gdy program OLEW v.1.7 wygeneruje n-plików o odpowiednim formacie zapisu (gdzie n – oznacza liczbę osobników). Również program OLEW v.1.7 ponownie zadziała dopiero wówczas, gdy Ansys® wygeneruje n-plików o odpowiednim formacie zapisu danych. Cykl ten powtarzany jest aż do osiągnięcia założonej maksymalnej liczby pokoleń.
- Uruchamianie programu Ansys® za pomocą pliku wsadowego. Wówczas w autorskim programie OLEW v.1.7 oprócz zadeklarowanych ścieżek wejściowych i wyjściowych zadeklarowana jest również ścieżka dostępu do pliku wsadowego (z komendą uruchomieniową), w którym m.in. podana jest ścieżka uruchamiania programu Ansys®.

7. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

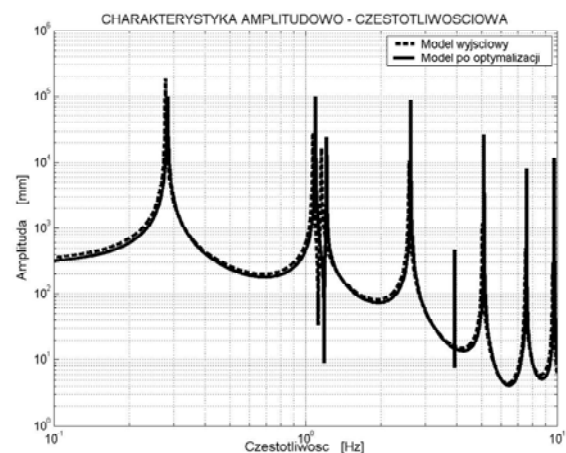
W tabeli 2 przedstawiono porównanie własności mechanicznych i modalnych łopaty elektrowni wiatrowej o cechach konstrukcyjnych pozyskanych z literatury (przed optymalizacją) oraz uzyskanych w wyniku przeprowadzonego procesu optymalizacyjnego.

Na rys. 4 i rys. 5 przedstawiono uzyskane charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe modelu łopaty o zredukowanej liczbie stopni swobody, dla wybranych węzłów modelu łopaty przed i po optymalizacji, gdzie proces optymalizacyjny przeprowadzono z wagową funkcją kryterialną, przy czym do porównań wybrano najlepsze z uzyskanych rozwiązań paretooptimalnych.

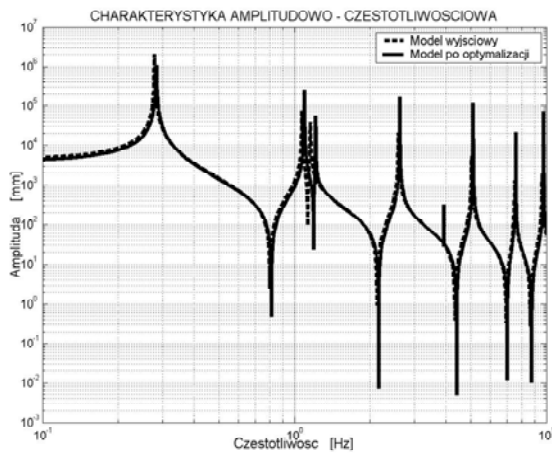
Natomiast na rys. 6 i rys. 7 przedstawiono wyniki symulacji drganiowych przemieszczeń wybranych węzłów modelu łopaty o zredukowanej liczbie stopni swobody dla wyżej wymienionych przykładów.

Tab. 2. Porównanie własności mechanicznych i modalnych modelu łopaty elektrowni wiatrowej przed i po optymalizacji

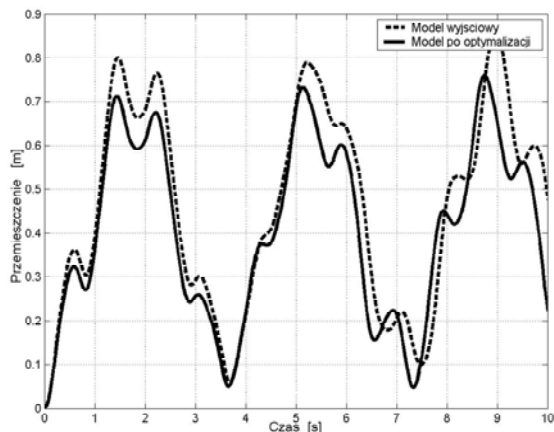
Funkcja celu		Model teoretyczny	Rozwiązanie paretooptimalne	
Zmienne projektowe	x1	0.06	0.0960	
	x2	0.06	0.0702	
	x3	27	14	
	x4	4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32; 36; 40; 44; 48; 52; 56; 60; 64; 68; 72; 76; 80; 84; 88; 92; 96; 100; 104; 108	5; 8; 9; 11; 14; 15; 16; 33; 34; 36; 45; 69; 78; 82	
Masa łopaty [kg]		1119.3	1240.7	
Max naprężenie [MPa]		227	204	
Max odkształcenie [%]		0.4842	0.4438	
Przemieszczenie końcówki łopaty [m]		6.244	5.493	
Częstotliwości drgań własnych [Hz]	1.	0.27666	1.	0.28109
	2.	0.9804	2.	1.0566
	3.	1.1331	3.	1.1721
	4.	2.5354	4.	2.5736
	5.	3.7642	5.	3.8928



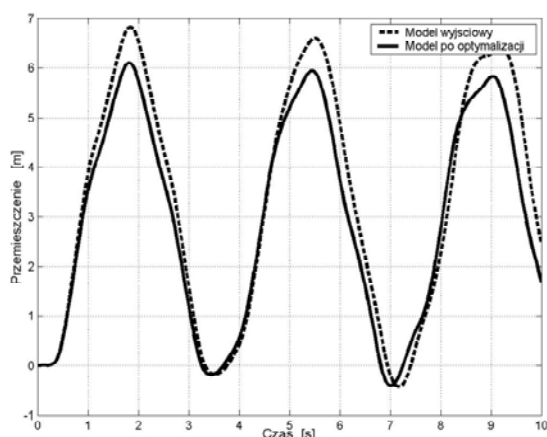
Rys. 4. Charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe wyznaczone w węzle położonym w połowie rozpiętości łopaty



Rys. 5. Charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe wyznaczone w węźle położonym na końcu łopaty



Rys. 6. Wyniki symulacji drganiowych przemieszczeń w kierunku poprzecznym wyznaczone w węźle położonym w połowie rozpiętości łopaty



Rys. 7. Wyniki symulacji drganiowych przemieszczeń w kierunku poprzecznym wyznaczone w węźle położonym na końcu łopaty

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizując tabelę 2 oraz powyższe wykresy można wysunąć następujące wnioski:

- rozważane rozwiązanie paretooptymalne charakteryzuje się wartością przemieszczenia końcówki łopaty mieszczącą się w granicach wartości dopuszczalnej;
- całkowita masa łopaty o cechach konstrukcyjnych uzyskanych w wyniku minimalizacji funkcji wagowej (rozważane rozwiązanie paretooptymalne) jest o około 11% większa niż przed optymalizacją, co podwyższa koszty materiału;
- zastosowanie minimalizacji funkcji wagowej (rozważane rozwiązanie paretooptymalne) doprowadziło do zwiększenia wartości amplitud drgań własnych w porównaniu do wartości dla modelu przed optymalizacją;
- zastosowanie minimalizacji funkcji wagowej (rozważane rozwiązanie paretooptymalne) doprowadziło do nieznacznego zmniejszenia przemieszczeń wybranych węzłów modelu łopaty.

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, iż opracowany algorytm obliczeń numerycznych oraz pakiet programów komputerowych, stanowiący połączenie autorskiego programu OLEW v.1.7, realizującego zmodyfikowany algorytm genetyczny, z komercyjnym programem Ansys®, realizującym metodę elementów skończonych, może być z powodzeniem stosowany w procesie projektowo – konstrukcyjnym prototypu modelu łopaty oraz w dalszych badaniach z zakresu optymalizacji kształtu łopaty.

LITERATURA

1. **Zienkiewicz O. C., Taylor R. L.** (2000), *Finie Element Metod*, Butterworth Heinemann, Oxford.
2. **Hansen Martin O. L.** (2002), *Aerodynamics of wind turbines*, Published by James & James.
3. **Guyan R. J.** (1965), *Reduction of stiffness and mass matrices*, AIAA Journal, Vol.3, No 2.
4. **Heylen W., Lammens S., Sas P.** (1997), *Modal analysis theory and testing*, KU Leuven, Belgia.
5. **Ewins D. J.** (2000), *Model validation: correlation for updating*, Sadhana, Vol 25, Part 3, pp. 221 – 234.
6. **Jureczko M.** (2006), *Optymalizacja wielokryterialna łopat wirnika elektrowni wiatrowej ze względu na minimalizację drgań*, Rozprawa doktorska, Gliwice.
7. **Mężyk A., Jureczko M.** (2006), *Optymalizacja wielokryterialna łopat elektrowni wiatrowej ze względu na minimalizację drgań*. Monografia 104. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
8. **Arabas J.** (2001), *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*, WNT, Warszawa.
9. **Tita V., Carvalho J., Lirani J.** (2001), *A procedure to estimate the dynamic behavior of fiber reinforced composite beams submitted to flexural vibration*, Journal of Mat. Res. Vol. 4 No 4, São Carlos.
10. **Griffin D. A.** (2002), *Blade system design studies. Volume I: Composite technologies for large wind turbine blades*, SAND 2002-1879, Unlimited Release.
11. **Duda S.** (2004), *Zastosowanie metody kondensacji Guyana do redukcji liczby stopni swobody modeli dyskretnych*, Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej, nr 25.

OPTIMIZATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF THE WIND TURBINE BLADE

Abstract: This paper discusses a computer software package for minimize dynamic properties of the blade. The numerical model of the blade, created with Ansys. was used to optimize providing a high accuracy of the determination of strength and modal properties of the blade. Optimization studies were carried out by means of the authors' proprietary program that implemented a modified genetic algorithm. Models of reduced number of degrees of freedom were used for dynamic analysis. The consistence of free vibrations of the structural model of the system with the reduced model was investigated using the MAC criterion.