

COMPUTER ENGINEER SIMULATION OF MAINTENANCE OF WIND MACHINE CONSTRUCTION USING VIRTUAL MODEL

Summary

Some aspects of the computer modelling and analysing of a structure on example of an agricultural wind machine were presented in the paper. The structure of the wind machine is designed for protection of agricultural cultivations. The particularity of building FEM model, the eigen values and strength calculation results under different loading cases that were implemented to the model were also discussed.

BADANIA SYMULACYJNE WIRTUALNEGO MODELU MASZYNY WIATROWEJ W ASPEKTCIE ZACHOWAŃ JEJ KONSTRUKCJI

Streszczenie

W artykule omówiono zagadnienia modelowania i obliczeń konstrukcji na przykładzie rolniczej maszyny wiatrowej do ochrony upraw ogrodniczych przed przymrozkami. Przedstawiono i omówiono szczegóły budowy modelu obliczeniowego MES oraz wyniki obliczeń wartości własnych i obliczeń wytrzymałościowych pod działaniem obciążeń eksploatacyjnych dla różnych przypadków obciążeń zaimplementowanych w modelu.

Wstęp

Rozwijający się w ostatnich latach rynek systemów komputerowych wspomagania projektowania i wytwarzania sprzyja rozwojowi i unowocześnianiu biur projektowo-konstrukcyjnych. Wprowadza się coraz to nowsze metody projektowania i zapisu konstrukcji, bazujące na różnorodnych systemach komputerowych, począwszy od najprostszych programów do rysunków 2D, a skończywszy na rozbudowanych systemach do modelowania 3D. Na szczególną uwagę zasługują te ostatnie. Są bowiem dla inżynierów wartościowymi narzędziami nie tylko w sensie modelowania, ale przede wszystkim jako narzędzia obliczeniowe.

Możliwości obliczeniowych jest obecnie wiele. Na szczególną uwagę zasługuje metoda elementów skończonych (MES). Celem artykułu jest zatem zaprezentowanie przykładowego procesu obliczeniowego z wykorzystaniem właśnie MES do inżynierskiej analizy konstrukcji maszyny wiatrowej.

Badania symulacyjne obejmują wyznaczenie wartości własnych analizowanej konstrukcji oraz zbadanie zachowań maszyny wiatrowej poddanej obciążeniom eksploatacyjnym (obliczenia wytrzymałościowe). Symulacje przeprowadzono z wykorzystaniem modelu wirtualnego maszyny wiatrowej. Do obliczeń eksploatacyjnych przyjęto dwa przypadki obciążeń, tj:

- obciążenia wynikające z pracy śmigła
- obciążenia pochodzące od wiatru.

W efekcie na symulacje składały się trzy przypadki obliczeniowe: I przypadek – wyznaczenie wartości własnych, II przypadek – obliczenia wytrzymałościowe dla obciążenia pracą śmigła i III przypadek – obliczenia wytrzymałościowe dla obciążenia wiatrem.

Model wirtualny maszyny wiatrowej obejmował w uproszczeniu konstrukcję nośną maszyny, tj. rurę masztu wraz z uźebrowaną podstawą. Model przygotowany został pod kątem przeprowadzenia obliczeń metodą elementów

skończonych. Szczegóły jego budowy opisano w dalszej części artykułu.

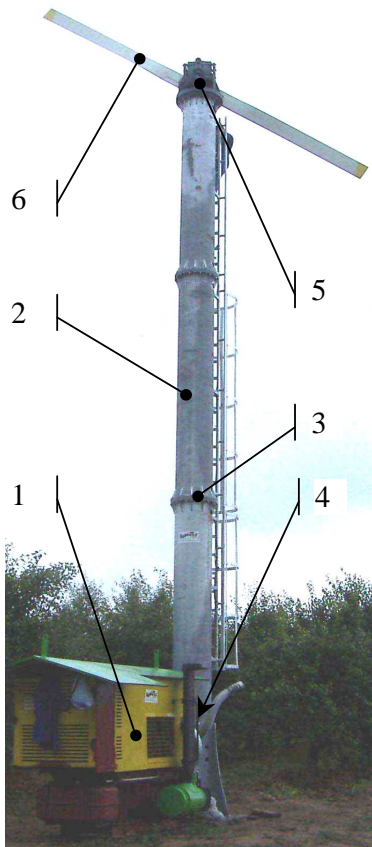
Maszyna wiatrowa (rys. 1) wykorzystywana jest w rolnictwie do ochrony upraw przed przymrozkami. Istota tej ochrony polega na przedmuchiwanie cieplejszego powietrza z wyższych warstw atmosfery (kilkanaście metrów nad powierzchnią ziemi) w kierunku pola uprawnego, co owocuje usuwaniem zalegającego między roślinami zimnego powietrza. Efekt przedmuchiwania wymusza śmigła umieszczone na wysokim maszcie.

Napęd śmigła pochodzi od ekologicznego silnika spalinowego i przenoszony jest przez reduktory i wał napędowy. Pierwszy reduktor znajduje się w rurze masztu na wysokości wału silnika i przekazuje napęd na wał napędowy umieszczony wewnątrz masztu. Napęd od wału odbierany jest przez zespół reduktorów zainstalowanych na szczycie maszyny wiatrowej. Zadaniem zespołu reduktorów jest uzyskanie śmigła oraz realizacja jego ruchów obrotowych w osi poziomej (główny ruch obrotowy śmigła) i w osi pionowej (ruch obiegowy śmigła wokół masztu).

Model obliczeniowy

Wyznaczanie wartości własnych oraz obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono metodą elementów skończonych. W tym celu przygotowano model obliczeniowy, który zbudowano w oparciu o elementy skończone płytko-powłokowe (rys. 2).

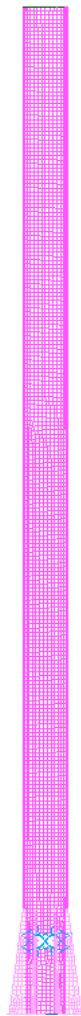
Tak przygotowany model pozwalał na analizę wytrzymałościową w skali makro, tj. analizę zachowania się konstrukcji pod obciążeniem pochodzącym od śmigła i wiatru. Rozpatrywanie wytrzymałości w skali mikro, czyli np. spiętrzenia naprężeń w okolicy spawów, istotnej z punktu widzenia trwałości zmęczeniowej, wymaga przygotowania bardziej dokładnych modeli oraz wykorzystania zaawansowanych solverów obliczeniowych. Jest to zagadnienie odrębne i nie będzie tu omawiane.



Rys. 1. Maszyna wiatrowa zainstalowana w warunkach eksperymentalnych

1 - silnik spalinowy napędowy,
2 - rura masztu z zamontowanym wewnątrz wałem napędowym,
3 - kołnierz technologiczny,
4 - dolny reduktor, 5 - zespół reduktorów śmigła, 6 - śmigło

Fig. 1. Wind machine installed in the field conditions

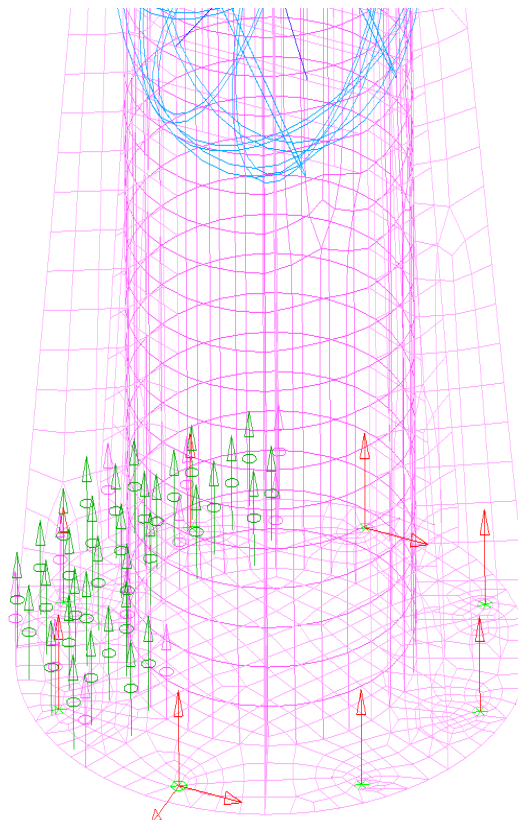


Rys. 2. Skończenie elementowy model obliczeniowy maszyny wiatrowej

Fig. 2. FEM-model of the wind machine

Konstrukcja maszyny wiatrowej mocowana jest do fundamentu betonowego. Narzuca to określone warunki przy ustalaniu stopni swobody w modelu obliczeniowym. Podczas zginania słupa masztu, po stronie dociążanej powstaje podparcie typu kontaktowego, a po stronie odciążanej pojawiają się reakcje w postaci sił rozciągających śruby fundamentowe (rys. 3).

Zgodnie z powyższym w modelu po stronie dociążanej odebrano przemieszczenia pionowe na wycinku powierzchni płyty podstawy, a po stronie odciążanej te same przemieszczenia ale tylko punktowo w miejscach występowania śrub. Poza tym, na dwóch wybranych przeciwległych śrubach odebrano brakujące przemieszczenia poziome tak, aby w globalnym ujęciu konstrukcja miała odebrane wszystkie sześć stopni swobody. Na rys. 3 zielone wektory po lewej stronie odpowiadają stronie dociążanej, natomiast wektory czerwone, szczególnie widoczne po prawej stronie, odpowiadają stopniom swobody odebranych w miejscach występowania śrub fundamentowych.



Rys. 3. Widok dolnego fragmentu modelu obliczeniowego z widocznymi wektorami w miejscach odebrania stopni swobody

Fig. 3. Model of the wind machine with vectors of the displacement restraint- bottom view

Implementacja obciążeń

W wyniku pracy śmigła występują w konstrukcji następujące obciążenia: siła ciągu śmigła (8000 N), mająca największy wpływ na zginanie masztu oraz momenty reakcji od momentu obrotowego śmigła (4100 Nm) i momentu obrotowego wału napędowego (ze względu na bliskie jedności przełożenia reduktorów moment ten można przyjąć taki sam jak dla śmigła) [1]. Wymienione siły i momenty zilustrowane są na rys. 4a ciemnozielonymi wektorami. Podwójne grotty odnoszą się do momentów skręcających, pojedynczy grot do siły ciągu śmigła (występuje u góry masztu wraz z podwójnym grottem od momentu obrotowego śmigła).

Rozkład ciśnienia wiatru działającego na konstrukcję jest nierównomierny i zmienia się wraz z wysokością nad poziomem gruntu. Na wartość całkowitego ciśnienia składają się dwie składowe: napór, zgodny z kierunkiem wiatru i wyznaczane w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru zmiany ciśnienia w wyniku powstawania wirów Benarda-Karmana.

W przypadku obciążeń spowodowanych wirami wyznacza się ciśnienie zastępcze, przy obliczaniu którego uwzględnia się m. in. częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Zaimplementowane ciśnienie w modelu obliczeniowym jest ciśnieniem wypadkowym z tych dwóch składowych, dodatkowo zlinearyzowanym dla uproszczenia (rys. 4b). Kolor żółty na rysunku przedstawia graficznie rozkład ciśnienia wiatru wzdłuż słupa, wektor czerwony siłę naporu wiatru na śmigło.



Rys. 4. Implementacja obciążeń w modelu obliczeniowym: a) obciążenia od pracy śmigła; b) obciążenia od ciśnienia wiatru

Fig. 4. Loading cases implemented in the virtual model: a) propeller loads; b) wind pressure

Więcej informacji na temat obliczania obciążeń dla maszyny wiatrowej można znaleźć w pozycjach literatury [1] oraz [2, 3 i 4].

Opracowując warunki obciążeniowe przyjęto także dodatkowe współczynniki bezpieczeństwa wynikające z niepewności obliczeń sił w śmigła i sił naporu wiatru [1]:

$x_b = 1,5$ dla obliczeń sił od pracy śmigła,
 $x_b = 1,2$ dla obliczeń sił naporu wiatru.

Przez współczynniki te przemnożono wartości sił obliczone ze wzorów analitycznych.

Przebieg i wyniki obliczeń

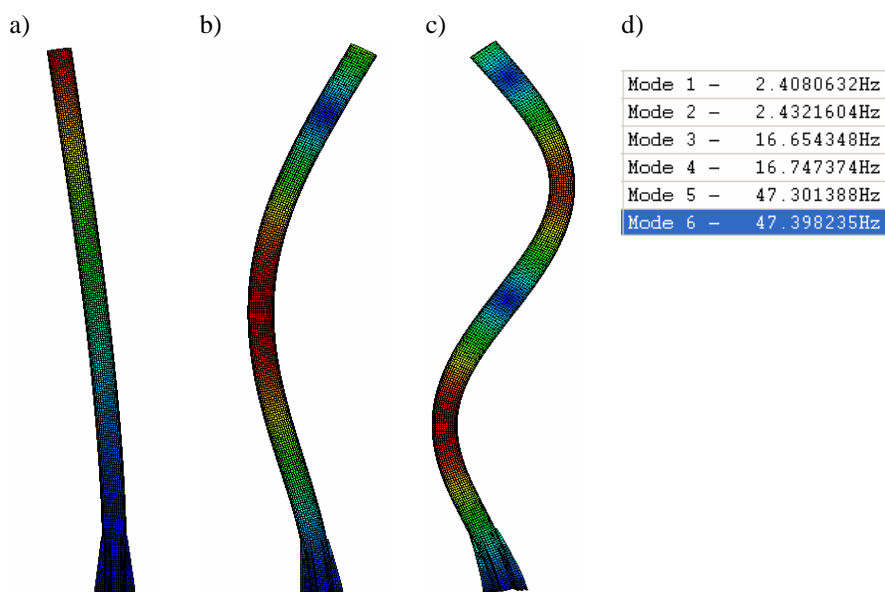
Obliczenia podzielone zostały na trzy etapy. W pierwszym etapie wyznaczono postaci i częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Postaci własne przedstawiono w formie przemieszczeń jednostkowych. Dla każdej postaci podano odpowiadające im wartości częstotliwości. Wyniki pokazano na rys. 5. Rysunki 5a, 5b i 5c przedstawiają postaci drgań, a rysunek 5d zawiera tabelę wartości częstotliwości własnych.

W drugim i trzecim etapie przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji nośnej maszyny wiatrowej w aspekcie obciążeń eksploatacyjnych. Przypadki obciążenia od śmigła i wiatru obliczane były niezależnie – ponieważ w warunkach rzeczywistych nie występują równocześnie. Dla obu przypadków wygenerowano natomiast te same rodzaje wyników: naprężenia zredukowane von Mises'a, przemieszczenia globalne i reakcje na śrubach fundamentowych. Wyniki pokazano odpowiednio na rys. 6a, 6b i 6c.

Największe naprężenia gnące wystąpiły zgodnie z oczekiwaniami w dolnym fragmencie masztu na granicy uźbrowania. Zaprojektowane uźbrowanie przedłużone poza granicę otworu reduktora, pozwoliło uniknąć niebezpiecznych karbów kształtowych.

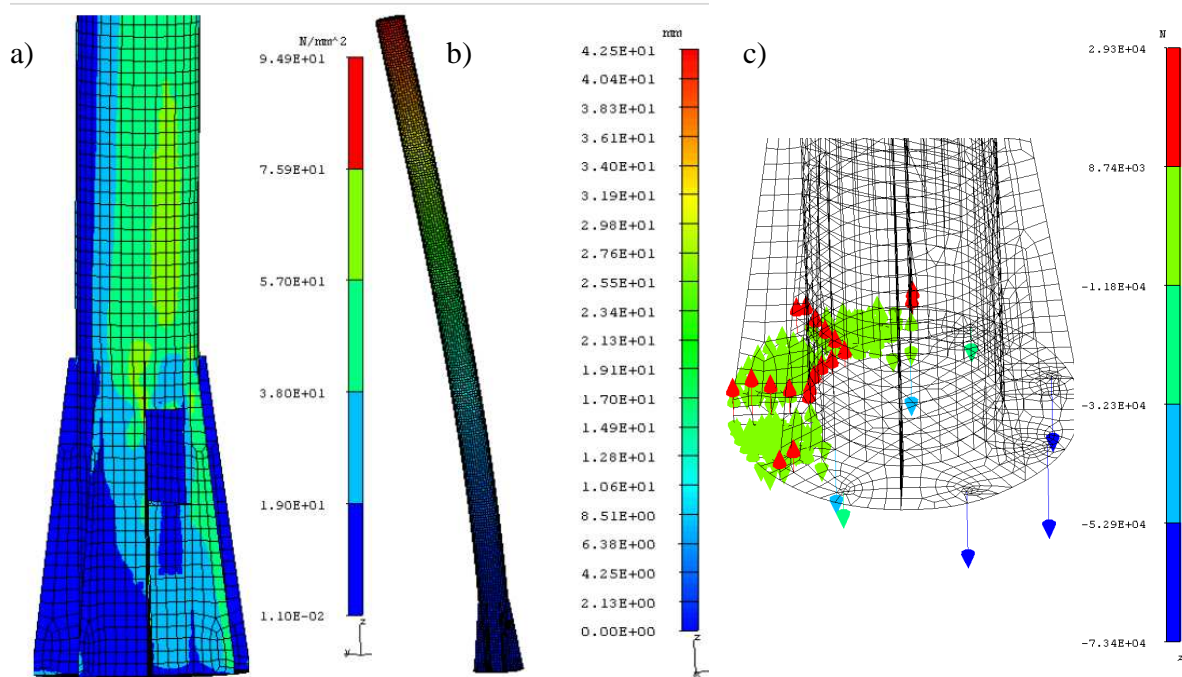
Największe przemieszczenia wierzchołka masztu osiągnęły wartość kilkudziesięciu milimetrów. Nie jest to jednak wynik niebezpieczny dla konstrukcji.

Wartościowe dla dalszych działań projektowych były wyznaczone reakcje na śrubach fundamentowych. Ich znajomość umożliwiła zaprojektowanie dostatecznie wytrzymałego fundamentu pod konstrukcję i dobranie odpowiedniej średnicy śrub.



Rys. 5. Postaci i częstotliwości własne dla modelu słupa maszyny wiatrowej: a) 1 i 2 postać, b) 3 i 4 postać, c) 5 i 6 postać, d) częstotliwości drgań własnych [Hz] dla poszczególnych postaci [1]

Fig. 5. Eigen values (mode shapes and frequency) for wind machine model: a) 1 and 2 mode, b) 3 and 4 mode, c) 5 and 6 mode, d) mode frequency [Hz]



Rys. 6. Analiza MES: a) naprężenia zredukowane [MPa] dla obciążenia śmigłem, b) przemieszczenia globalne [mm] dla obciążenia wiatrem, c) reakcje [N] dla obciążenia śmigłem [1]

Fig. 6. FEM analysing: von Mises stresses [MPa] for propeller load, b) displacements [mm] for wind load, c) reactions [N] for propeller load

Wnioski

Przedstawiony przykład modelowania i obliczeń maszyny wiatrowej pokazuje możliwości przeprowadzenia analiz inżynierskich konstrukcji z wykorzystaniem nowoczesnych technik komputerowych. Badanie zachowań konstrukcji pod działaniem obciążenia pozwala odpowiedzieć na podstawowe pytania: czy konstrukcja spełnia warunki wytrzymałościowe (naprężenia), czy spełnia warunki prawidłowej pracy (np. drgania konstrukcji, ugięcia) i jakie warunki powinno spełniać otoczenie konstrukcji (np. fundament). Odpowiedź jest możliwa dzięki opracowanym modelom konstrukcji i zjawisk w niej występujących lub zjawisk występujących w otoczeniu konstrukcji (zagadnienia nie poruszane w artykule). Modele jednak z zasady są

uproszczeniem stanu rzeczywistego i dlatego od ich dokładności zależy dokładność wyników. Z tego względu nawet najbardziej dokładny model powinien być ostatecznie zweryfikowany w warunkach eksploatacyjnych na prototypie maszyny.

Literatura

- [1] Szczepaniak J. i inni.: Maszyna wiatrowa do ochrony upraw ogrodniczych przed przymrozkami. Zadanie 1, 2 i 3, PIMR Poznań, 2005
- [2] <http://www.darmowa-energia.eko.org.pl/>
- [3] PN-77/B-02011
- [4] Żurański J. A.: Obciążenia wiatrem budowli i konstrukcji. Arkady, Warszawa 1978.