

PIOTR MATYS\*, MARCIN AUGUSTYN\*\*

## WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW AERODYNAMICZNYCH RÓŻNYCH TYPÓW ŁOPAT WIRNIKA KARUZELOWEGO

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF AERODYNAMIC COEFFICIENTS OF DIFFERENT TYPES OF MERRY-GO-ROUND ROTOR BLADES

#### Streszczenie

Artykuł przedstawia badania eksperymentalne w tunelu aerodynamicznym czterech różnych typów łopat możliwych do zastosowania w turbinie o pionowej osi obrotu typu karuzelowego. Badanie dotyczyło pomiarów sił aerodynamicznych i momentu aerodynamicznego działających na modele łopat. Obliczone wartości współczynników  $C_D$ ,  $C_L$  i  $C_M$  przedstawiono w formie graficznej i poddano analizie.

*Słowa kluczowe: siłownia wiatrowa, wirnik karuzelowy*

#### Abstract

The paper presents experimental studies in a wind tunnel of four different types of blades that can be used in a turbine with a vertical axis merry-go-round type. The examination included measurements of aerodynamic forces and aerodynamic torque acting on the models of the blades. Calculated values of the coefficients  $C_D$ ,  $C_L$  and  $C_M$  have been presented graphically and analyzed.

*Keywords: wind turbine, merry-go-round rotor*

\* Mgr inż. Piotr Matys, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

\*\* Mgr inż. Marcin Augustyn, doktorant, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Artykuł przedstawia wyniki badań aerodynamicznych czterech różnych typów łopatek możliwych do zastosowania w turbinie o pionowej osi obrotu typu karuzelowego [4]. Rysunek 1 pokazuje model takiej turbiny w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego opracowanej i zbudowanej w Instytucie Konstrukcji Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej [6, 8]. Ustawienie trzech łopatek, zintegrowanych z przekładnią planetarną przy jednoczesnym zastosowaniu mechanizmu naprowadzenia (na kierunek wiatru), wprowadza turbinę w ruch bez pomocniczego napędu [5].



Rys. 1. Model turbiny karuzelowej z planetarnym ruchem łopatek w tunelu aerodynamicznym Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej

Fig. 1. Model of merry – go – round – type wind rotor with a planetary blade motion in the Wind Engineering Laboratory, Cracow University of Technology

## 2. Modele do badań eksperymentalnych oraz system pomiarowy

Rysunek 2 przedstawia przekroje poprzeczne modeli łopatek użytych do badań. Są to konstrukcje blachownicowe:

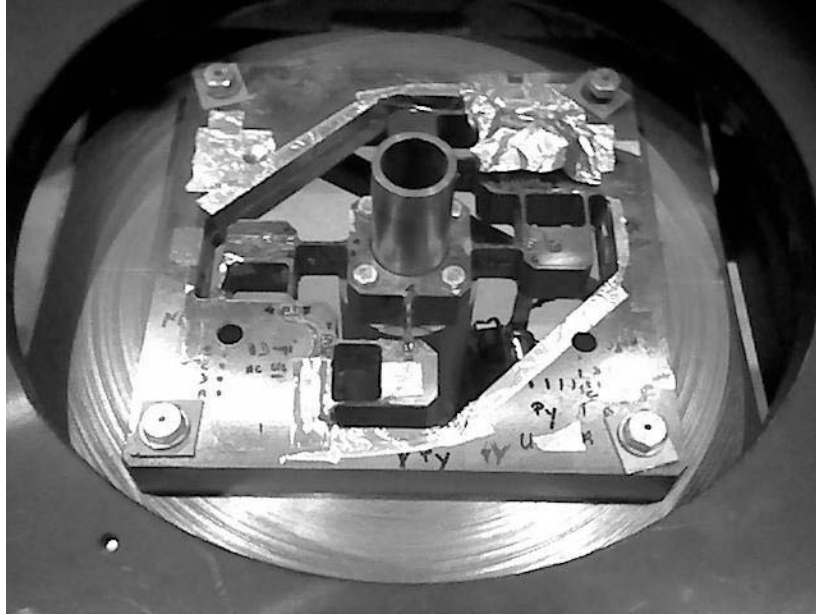
- przestrzenne – model jednopójny i dwuspójny [7],
- płaskie – wykonane z jednego arkusza blachy, modele o przekroju „S” i „I”.

Wymiary gabarytowe modeli:

- wysokość 625 [mm],
- szerokość podstawy 250 [mm], natomiast szerokość pojedynczego płata 150 [mm] dla modelu o przekroju dwuspójnym.

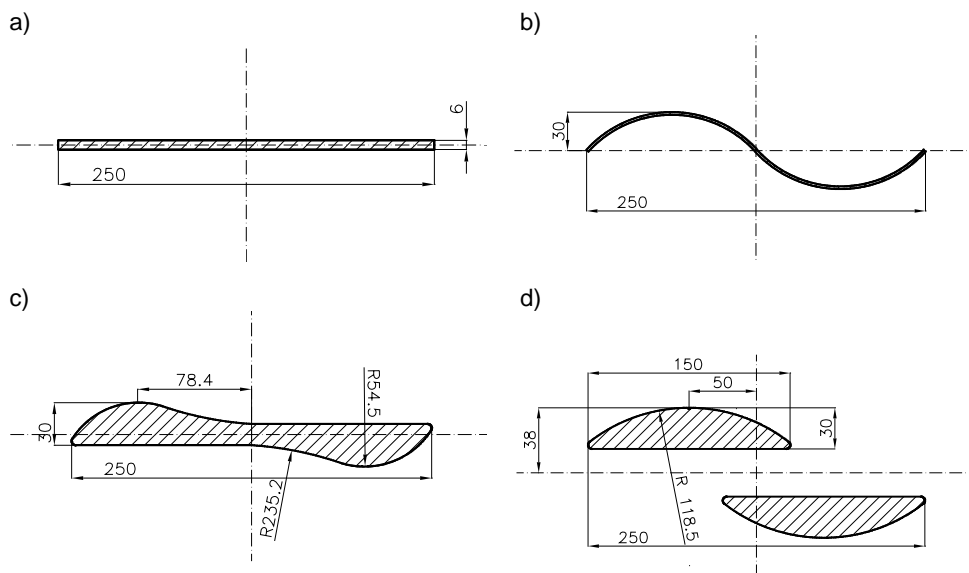
Wszystkie modele łopatek zamknięto z obu stron aluminiową płytą o kształcie koła, o średnicy 400 [mm], tak aby przepływ powietrza podczas badania nie został zakłócony.

Wybrano kształty łopatek, które pozwolą na dobrą porównawczą ocenę wyników. Blacha płaska stanowi odniesienie porównawcze do wyników pomiarów. Wszystkie wymiary podano w [mm]. Modele były montowane na pionowej pięcio-składnikowej wadze aerodynamicznej (rys. 2). Pomiar prędkości wiatru zrealizowany był za pomocą zespołu skanerów ciśnień. Czujniki ciśnieniowe umieszczono w płaszczyźnie pionowej jak pokazano na rysunku 4. Przyjęto 10 sekundową długość pomiaru, w czasie którego zbierano 6000 próbek.



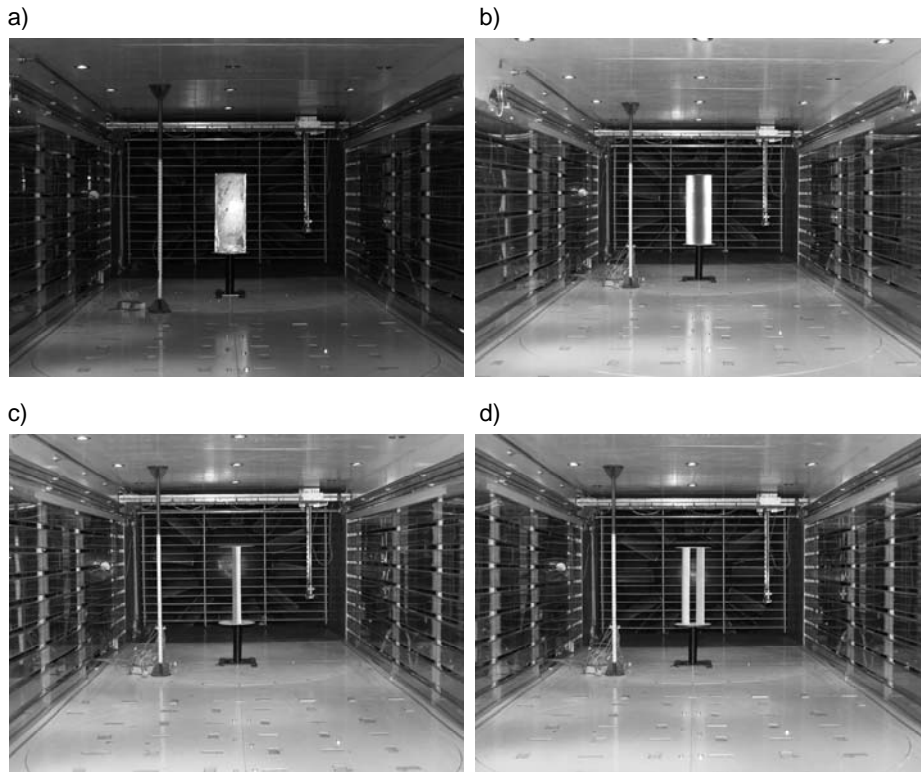
Rys. 2. Pięcioskładnikowa waga aerodynamiczna

Fig. 2. 5-component aerodynamic balance

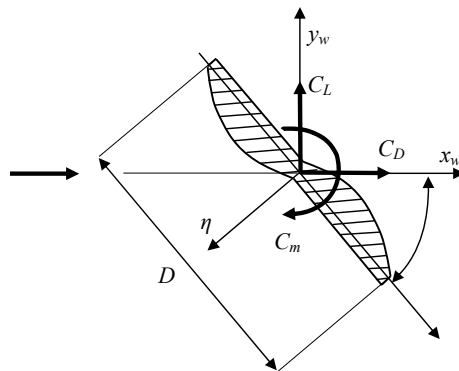


Rys. 3. Przekrój poprzeczny badanych modeli sekcyjnych łopatek wraz z wymiarami [mm]

Fig. 3. Cross section view of the tested blade section models with dimensions [mm]



Rys. 4. Zdjęcia czterech łopat turbiny wiatrowej w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego  
 Fig. 4. Pictures of four blades of the wind turbine in the measurement space of the wind tunnel



Rys. 5. Układ współrzędnych współczynników aerodynamicznych  $C_D$ ,  $C_L$ ,  $C_M$  dla danego modelu sekcyjnego łopaty w funkcji kąta natarcia wiatru  $\epsilon$   
 Fig. 5. Coordinate system of the aerodynamic coefficients  $C_D$ ,  $C_L$ ,  $C_M$  for each section model of the blade as function of the angle of wind attack  $\epsilon$

Wartości sił i momentów aerodynamicznych działających na konstrukcje modeli, jak również pomiar prędkości i ciśnienia, rejestrowane były przez wielofunkcyjne karty PCI DaqBoard/2000 i przesyłane do oprogramowania kontrolno pomiarowego Data Acquisition DaqView. Zapis danych na dysku komputera w formacie: ASCII, Excel, bin.

Przed wykonaniem pomiarów aparatura pomiarowa została skalibrowana.

Siły aerodynamiczne i moment aerodynamiczny działające na badane modele, jak również orientację modeli w układzie współrzędnych przedstawiono na rysunku 5.

### 3. Wyniki pomiarów

W wyniku pomiaru sił aerodynamicznych i momentu aerodynamicznego, możliwe były do określenia następujące współczynniki aerodynamiczne:

$$C_D = \frac{P_D}{q \cdot S} \quad - \quad \text{bezwymiarowy współczynnik oporu aerodynamicznego}$$

$$C_L = \frac{P_L}{q \cdot S} \quad - \quad \text{bezwymiarowy współczynnik aerodynamiczny siły bocznej}$$

$$C_m = \frac{M_{yw}}{q \cdot b \cdot S} \quad - \quad \text{bezwymiarowy współczynnik momentu aerodynamicznego } M_{yw}$$

gdzie:

$$q = \frac{\rho V_s^2}{2} \quad - \quad \text{ciśnienie prędkości w przepływie przed badanym modelem [Pa],}$$

$$b \quad - \quad \text{szerokość modelu [m],}$$

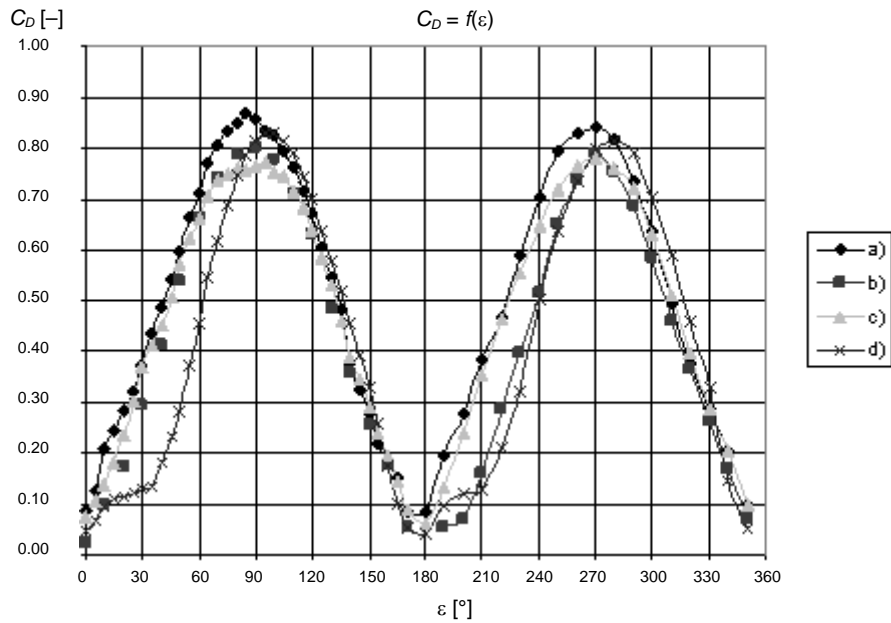
$$P_x \quad - \quad \text{opór aerodynamiczny [N],}$$

$$P_y \quad - \quad \text{aerodynamiczna siła boczna [N],}$$

$$M_{yw} \quad - \quad \text{moment aerodynamiczny względem } yw \text{ [Nm],}$$

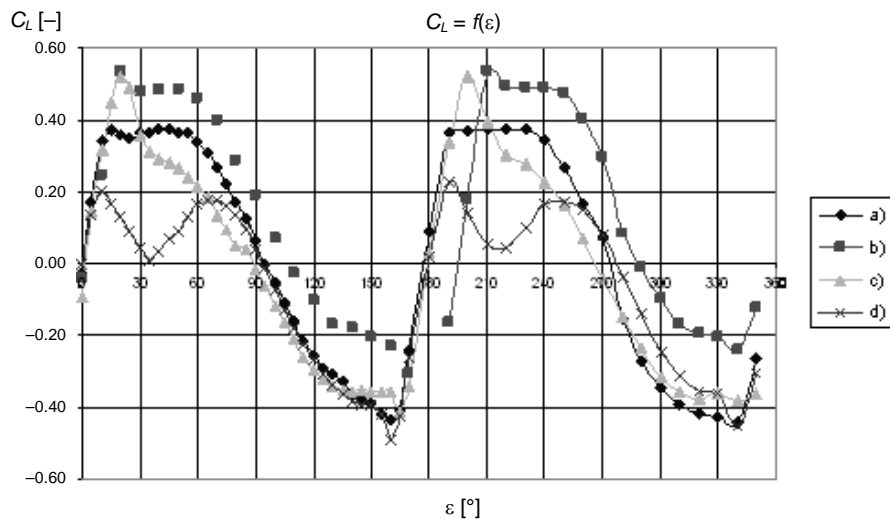
$$S \quad - \quad \text{powierzchnia czołowa badanego modelu [m}^2\text{].}$$

Wykresy przedstawione na rysunkach 6–8 pokazują wyniki pomiarów dla różnych kątów natarcia wiatru w zakresie od 0 do 360 stopni. Z uwagi na możliwość trwałego odkształcenia elementów giętnoskrętnych i naklejonych na nich tensometrów w czasie badania modeli o dużych wymiarach gabarytowych, prędkość napływającego powietrza przyjęto na poziomie  $v = 16 \frac{m}{s}$ .



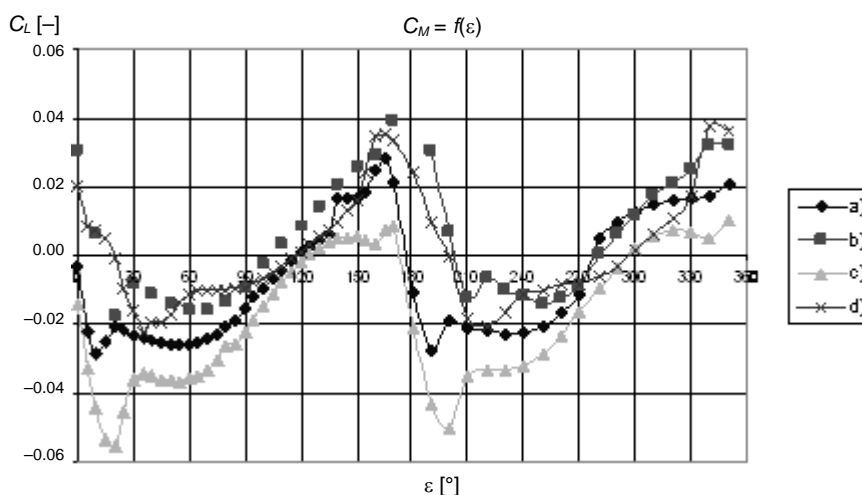
Rys. 6. Współczynnik aerodynamiczny  $C_D$  dla czterech różnych typów łopatek w funkcji kąta natarcia wiatru  $\varepsilon$

Fig. 6. Aerodynamic coefficient  $C_D$  for four different types of blades as function of the angle of wind attack  $\varepsilon$



Rys. 7. Współczynnik aerodynamiczny  $C_L$  dla czterech różnych typów łopatek w funkcji kąta natarcia wiatru  $\varepsilon$

Fig. 7. Aerodynamic coefficient  $C_L$  for four different types of blades as function of the angle of wind attack  $\varepsilon$



Rys. 8. Współczynnik aerodynamiczny  $C_M$  dla czterech różnych typów łopát w funkcji kąta natarcia wiatru  $\varepsilon$

Fig. 8. Aerodynamic coefficient  $C_M$  for four different types of blades as function of the angle of wind attack  $\varepsilon$

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania nasuwają następujące wnioski:

- Wartości współczynnika aerodynamicznego  $C_D$  nie różnią się znacząco dla różnych typów łopát;
- Największe wartości współczynnika aerodynamicznego  $C_L$  i momentu  $C_M$  otrzymano dla kształtu b);
- W pracy [1, 2] wyprowadzono zależności pomiędzy współczynnikami aerodynamicznymi  $C_D$ ,  $C_L$  i momentem aerodynamicznym  $C_M$  a sumarycznymi siłami działającymi na cały wirnik. Podstawą wyprowadzenia tych zależności była teoria quasi-ustalona, teoria podobieństwa i analiza wymiarowa w aerodynamice budowli [3]. Znalezione charakterystyki współczynników aerodynamicznych posłużą do policzenia momentu napędowego i mocy całego wirnika.

#### Literatura

- [1] Flaga A., *Modelling of aerodynamical and mechanical characteristics of different type of wind rotors. Environmental effects on buildings and people. Actions, influences, interactions, discomfort*, eds. Flaga A. and Lipecki T., Polish Association for Wind Engineering, Cracow, October 2010, 71-100.
- [2] Flaga A., *Siłownie wiatrowe* (w druku), Wydawnictwo PK, Kraków 2011.
- [3] Flaga A., *Inżynieria wiatrowa – Podstawy i zastosowania*, Arkady, Warszawa 2008.

- [4] Flaga A., Matys P., Augustyn M., *Współczynniki aerodynamiczne czterech typów łopat wirników karuzelowych*, Raport z badań, Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
- [5] Ryś J., Projekt wynalazczy zarejestrowany pod numerem P-298964, *Zespół samonaprowadzania głowicy silnika wiatrowego na kierunek wiatru*, 1993.
- [6] Ryś J., Projekt wynalazczy zarejestrowany pod numerem P-302549, *Wirnik karuzelowego silnika wiatrowego*, 1997.
- [7] Augustyn M., Ryś J., *Kinematyka i moment napędowy turbiny wiatrowej o pionowej osi wirnika*, Czasopismo Techniczne, z. 1-M/2007, Wydawnictwo PK, Kraków 2007, 3-17.
- [8] Augustyn M., *Budowa modelu i prezentacja działania turbiny wiatrowej nowego typu oraz perspektywy zastosowań*, „CZYSTA ENERGIA – CZYSTE ŚRODOWISKO”, Kraków – AGH, 2008.