

Stanowisko do badań turbin wiatrowych

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie zależności pomiędzy siłami P_y i P_x a kątem natarcia, prędkością strugi powietrza i kształtem łopatek turbin wiatrowych

Opis / wskazówki wykonania ćwiczenia:

Głównym elementem turbiny wiatrowej niezależnie od typu jest łopatka, która może być traktowana jako obracające się skrzydło. Obciążenie jego zależy od prędkości względnej i od kąta natarcia. Ciśnienie powietrza działające na zewnętrzne powierzchnie profilu nie jest jednakowe. Na górnej powierzchni następuje zjawisko redukcji ciśnienia, natomiast na dolnej notuje się wzrost ciśnienia. Efektem tej różnicy ciśnień jest siła F działająca na profil w kierunku niższego ciśnienia. Wartość tej siły wyrażona jest równaniem:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_r S V^2$$

gdzie:

ρ - gęstość powietrza

S - pole powierzchni równe cięciwa (szkieletowa) x długość płata

C_r - całkowity współczynnik aerodynamiczny

Siła P może być rozbita na dwie składowe:

- składowa równoległa do wektora prędkości V – siła oporu P_x
- składowa prostopadła do wektora prędkości V – siła nośna P_y

Siły P_x i P_y dane są następującymi zależnościami:

$$P_x = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2$$

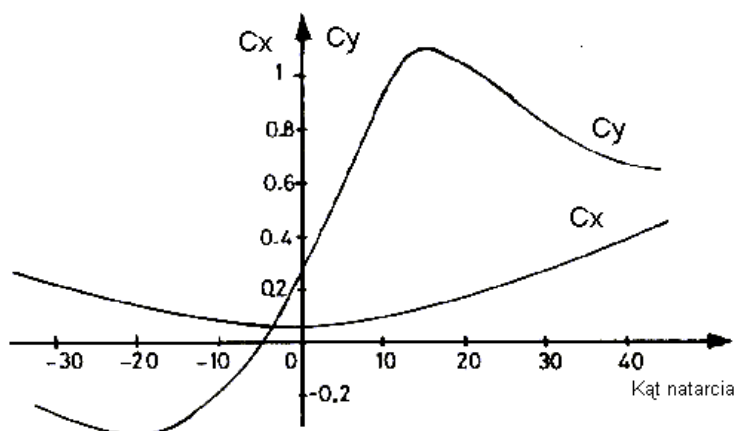
$$P_y = \frac{1}{2} \rho C_y S V^2$$

Wielkości C_x i C_y to odpowiednio współczynniki oporu czołowego i siły nośnej. Składowe P_x i P_y są do siebie prostopadłe, czyli:

$$P_x^2 + P_y^2 = P^2$$

$$C_x^2 + C_y^2 = C_r^2$$

Współczynnik siły nośnej C_y i aerodynamiczny współczynnik oporu czołowego C_x zmienia się w funkcji kąta natarcia (Rys. 1.).



Rys. 1. Zmiany współczynników C_x i C_y w funkcji kąta natarcia α

Krzywa reprezentująca współczynnik C_y przy konkretnej wartości kąta i_M zwanej „punktem załamania” osiąga maksimum. Minimalna wartość C_x występuje przy minimalnych wartościach kąta natarcia.

Ciśnienie na dolnej powierzchni płata jest wyższe niż ciśnienie otaczającej go atmosfery, podczas gdy ciśnienie na górnej powierzchni jest niższe od atmosferycznego. Z tego powodu na końcach płata powietrze ma tendencję do przepływania z powierzchni dolnej w kierunku powierzchni górnej. Rezultatem tego jest zjawisko powstawania wirów na końcach płata. W rzeczywistości na krawędziach bocznych płata powstaje duża ilość małych wirów, które „zwijają się” w dwa duże wiry na powierzchniach bocznych.

Konsekwencją tworzenia się tego zjawiska jest wzrost siły oporu, oraz pojawienie się nowej składowej indukowanej siły oporu P_{xi} , którą dodaje się do istniejącej siły P_x .

$$P_{xi} = \frac{1}{2} \rho C_{xi} S V^2$$

Tak więc współczynnik oporu C_x zmienia swoją wartość zgodnie z równaniem:

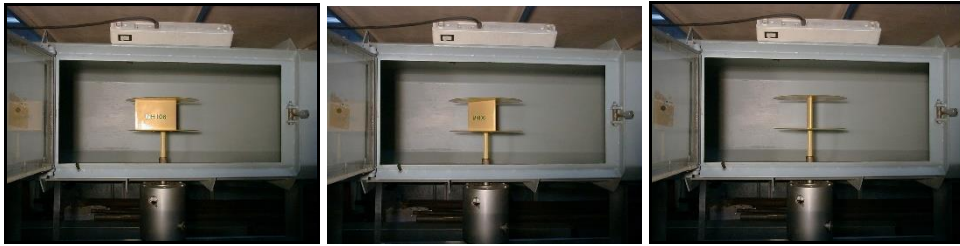
$$C_x = C_x + C_{xi}$$

gdzie C_{xi} jest współczynnikiem oporu dla płata o skończonej długości. Z tego wynika, żeby otrzymać taką samą siłę nośną należy zwiększyć kąt natarcia o wielkość ϕ . Stąd nowy kąt natarcia odpowiadający tej samej, co przedtem sile nośnej wyraża się wzorem:

$$\alpha = \alpha_0 + \phi$$

Układ pomiarowy:

- przyrząd do badań charakterystyk układu przepływowego umożliwiający pomiar składowej P_y oraz P_x
- pomiar realizowany jest przy wykorzystaniu tensometrii oporowej; wykorzystuje się zabudowaną w głowicy wagi aerodynamicznej trójskładnikową wagę tensometryczną;
- pomiar prędkości strugi realizowany jest przy wykorzystaniu anemometru;
- w celu wyeliminowania składowej indukowanej siły oporu P_{xi} , badane profile zaopatrzone zostały w osłony (Rys. 2.)



Rys. 2. Przykładowe ustawienia kąta profilu względem kierunku przepływu strugi

Wielkości, które należy wyznaczyć to:

1. prędkość niezaburzonej strugi powietrza V_w
2. wartość siły nośnej P_y
3. wartość siły oporu P_x

Znając wartości sił działających na profil możemy wyznaczyć zależność pomiędzy siłami P_y i P_x a kątem natarcia, prędkością strugi powietrza i kształtem łopatek.

Stanowisko do badań eksperymentalnych umożliwiającym weryfikację modeli teoretycznych oraz pomiar rzeczywistych charakterystyk opływowych badanych modeli to tunel aerodynamiczny z zamkniętym obiegiem powietrza (Rys. 3).



Rys. 3. Tunel aerodynamiczny z zamkniętym obiegiem powietrza

Przyrządem pomiarowym w badaniach tunelowych jest waga aerodynamiczna tensometryczna trójskładnikowa umożliwiająca pomiar sił i momentów działających na opływany model (Rys. 4).



Rys. 4. Waga aerodynamiczna tensometryczna 3 - składnikowa

Zakres pomiaru sił i momentu:

- siła oporu P_x : $0 \div 200$ [N], odczyt w dwóch podzakresach: $0 \div 19.99$ [N] z rozdzielczością 0.01 [N] i $0 \div 199.9$ [N] z rozdzielczością 0.1 [N]
- siła nośna P_z : $0 \div 200$ [N], odczyt w dwóch podzakresach: $0 \div 19.99$ [N] z rozdzielczością 0.01 [N] i $0 \div 199.9$ [N] z rozdzielczością 0.1 [N]
- moment M_y : $0 \div 2$ [Nm], z rozdzielczością 0.001 [Nm]
- zakres zmiany kąta nastawienia $\alpha \pm 180$ [°]

Pomiary, których celem jest określenie charakterystyk aerodynamicznych profili przeprowadza się w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego. W przestrzeni pomiarowej umieszczamy wybrany profil łopatki. Wyznaczamy zadaną prędkość przepływu strugi w tunelu. Pomiaru prędkości dokonujemy za pomocą anemometru. Dla zadanej prędkości przepływu przeprowadzamy pomiary wpływu kąta natarcia łopatek. Wykonujemy pomiary dla kątów natarcia łopatki $0^\circ \dots \pm 90^\circ$ co 5° , natomiast $90^\circ \dots 180^\circ$ co 10° .

Jako efekt pracy należy wykonać charakterystykę zmiany współczynników C_x i C_y w funkcji kąta natarcia α .

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel ćwiczenia
2. Schemat stanowiska
3. Tabela wielkości zmierzonych
4. Tabela wielkości obliczonych
5. Wykres zmiany współczynników siły nośnej i oporu w funkcji kąta natarcia
6. Wnioski

Literatura:

- Stanisław Gumuła, Tadeusz Knap, Piotr Strzelczyk, Zygmunt Szczerba, Energetyka Wiatrowa
- Ireneusz Soliński, Bartosz Soliński, Jacek Ostrowski, Energia Wiatrowa. Komputerowy System Monitoringu
- David A. Spera, David A. Spera, Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering
- Paraschivoiu I., Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept
- P. Brøndsted and R. Nijssen (Eds.), Advances in Wind Turbine Blade Design and Materials
- Ningsu Luo, Yolanda Vidal, Leonardo Acho (eds.), Advances in Industrial Control Wind Turbine Control and Monitoring
- Qingkai Han, Jing Wei, Qingpeng Han, Hao Zhang, Dynamics and Vibration Analyses of Gearbox in Wind Turbine
- Hamid Reza Karimi, Structural Control and Fault Detection of Wind Turbine Systems
- Wei Tong, Wind Power Generation and Wind Turbine Design
- Jamieson, Peter, Innovation in wind turbine design

Opracował: dr hab. inż. Krzysztof Pytel