

## **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Staśko  
pt.: „Ocena możliwości zastosowania koncepcji wirnika cykloidalnego dla maszyn  
energetycznych”

### **1. Charakterystyka rozprawy**

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Staśki jest analiza zastosowania wirnika cykloidalnego w trybie pracy jako wentylator. Praca ma charakter numeryczno - eksperymentalny z propozycją zastosowania takiego urządzenia w praktyce w przemysłowych układach wentylacyjnych. Główną przesłanką podjęcia badań był fakt, że większość badań naukowych poświęcona jest zastosowaniu tego rozwiązania głównie w lotnictwie, w turbinach wiatrowych oraz hydrodynamice. Brakuje badań, które przedstawiają pole przepływu generowane przez pracujący wirnik, jak również konkretnych wyliczeń sprawności analizowanych maszyn. Znajomość tych wielkości ma duże znaczenie praktyczne, gdyż dotyczy bezpośrednio wykorzystania wirnika cykloidalnego w charakterze maszyny służącej do transportu gazu. Stąd też podjęcie przez doktoranta wysiłku badawczego w tym kierunku wydaje się jak najbardziej zasadne.

W analizie literatury przedmiotu (rozdział 2) autor na wstępie bardzo szeroko przedstawia publikacje dotyczące zastosowania tego rozwiązania głównie w lotnictwie i marynistyce. Część badaczy, bazując na tych doświadczeniach próbuje zastosować te rozwiązania w maszynach do produkcji energii, takich jak chociażby turbiny wiatrowe czy wodne konwertery energii. Z analizy tego materiału wynika, że przeważająca część artykułów jest poświęcona optymalizacji wirnika w celu osiągnięcia wysokiej siły nośnej lub ciągu, natomiast nieliczne prace przedstawiają obliczenia numeryczne dotyczące analizy zjawisk zachodzących w samej strukturze przepływu przez wirnik cyklorotora.

Na podstawie przeglądu literatury sformułowano cel i zakres pracy, którym jest ocena możliwości zastosowania wirnika cykloidalnego w zastosowaniach instalacji energetycznych, jako maszyna robocza w przemysłowych układach wentylacyjnych.

Rozdział 3 i 4 pracy zawiera opis: przedmiotu badań, metodologii badawczej, analizę wrażliwości funkcji cykloidalnej, budowy stanowiska pomiarowego oraz opis używanych metod pomiarowych z uwzględnieniem niepewności pomiarowych dla każdej z metod. Program badań w sumie składa się z 18 przypadków pomiarowych, włączając w to dwa rodzaje profili łopatkowych, trzy ustawienia kąta nachylenia łopatki oraz trzy różne ustawienia obrotów badanego wirnika.

Zasadniczą częścią pracy jest rozdział 5, w którym przedstawiono wyniki badań w postaci symulacji numerycznych oraz ich porównanie z badaniami eksperymentalnymi. Na początku zaprezentowano analizę pola przepływu wewnątrz wirnika. Następnie przedstawiono porównanie profili prędkości bezwzględnej przed i za wirnikiem, wyznaczonych za pomocą CFD z danymi otrzymanymi z eksperymentu. W kolejnym etapie pokazano analizę sprawności wentylatora z wirnikiem cykloidalnym, a na samym końcu przedstawiono podsumowanie badań i wnioski końcowe.

## **2. Ocena pracy**

Tytuł rozprawy dobrze odzwierciedla treść pracy, jej układ uważam za logiczny i klarowny. Zawiera ona wszystkie elementy rozprawy naukowej, takie jak: przedstawienie przeglądu literatury, celu badań i tezy naukowej, metodykę badań, analizę wyników, podsumowanie i wnioski. Uważam zatem, że niniejsza rozprawa doktorska jest pod tym względem kompletna.

Wybrany zakres przypadków pomiarowych w badaniach eksperymentalnych jest wystarczający, natomiast w przypadku symulacji numerycznych można by pokusić się o rozszerzenie badań, (tj. zwiększyć obroty) aby osiągnąć na charakterystyce wirnika punkt maksymalnej sprawności. Program badań dobrano odpowiednio, najpierw przeprowadzono wstępną analizę pracy wirnika w przestrzeni otwartej za pomocą symulacji numerycznych, gdzie wstępnie przeprowadzono testy modeli turbulencji. Następnie przeprowadzono analizę pracy wentylatora w oparciu o trzy różne funkcje cykloidalne, za każdym razem przedstawiając porównanie otrzymanych wyników z eksperymentem. Przyjęta macierz pomiarowa oraz siatka pomiarów w dół przepływu za wirnikiem jest wystarczająco dokładna i pozwala wyczerpująco przedstawić charakterystykę przepływu w kanale za wentylatorem.

Dobrze przygotowane i przeprowadzone badania numeryczne i eksperymentalne pozwoliły na dokładne wyznaczenie kluczowych parametrów strumienia wlotowego i wylotowego podczas pracy, na podstawie których można było przeprowadzić ogólną ocenę jego pracy i możliwości, a także sprawności wentylatora. Jest to duża zaleta i istotny wkład do analizy tego typu maszyn energetycznych, ponieważ zwykle tego typu informacje dostępne w literaturze są bardzo skromnie przedstawiane. Uzyskane wyniki stanowią więc oryginalny wkład doktoranta do literatury przedmiotu, wobec tego moja ocena niniejszej rozprawy doktorskiej jest jednoznacznie pozytywna.

### **3. Dyskusja i uwagi szczegółowe**

Jak już wcześniej wspomniano, mając do dyspozycji narzędzie badawcze w postaci dobrze zwalidowanego kodu numerycznego, można by pokusić się o rozszerzenie badań i uzupełnić wykres sprawności w funkcji obrotów (wydatku) (rys. 5.25), przynajmniej dla jednego profilu, aby dla danej amplitudy kątów nachylenia łopatek uzyskać na charakterystyce wirnika punkt maksymalnej sprawności. Moim zdaniem jeszcze bardziej by to wzbogaciło wartość podjętych badań. Ponadto mając do dyspozycji CFD, można by jeszcze z większymi szczegółami pokazać przepływ w okolicy profili, zwłaszcza w fazie oderwania przepływu i odpowiedni rozkład ciśnienia na tym profilu.

W opisie badań można znaleźć informację o testach siatki, kroku czasowego, kryteriach wyboru modeli turbulencji. Jednak by mieć pełny obraz ustawień kodu obliczeniowego należałoby by jeszcze podać wartości  $y^+$  dla poszczególnych ścian, warunki brzegowe dla modeli turbulencji oraz jakie były kryteria wyboru takich a nie innych warunków?

W opisie przedmiotu badania podano informację, że profile wirnika zostały wykonane za pomocą wydruku 3D przy wykorzystaniu techniki z użyciem filamentu (FFF). Na podstawie literatury można przypuszczać, że chropowatość powierzchni aerodynamicznych była rzędu kilkunastu mikrometrów, a taka wielkość w aerodynamice raczej jest nie do zaakceptowania. Czy po wydruku była wykonywana jakaś obróbka powierzchni, czy od razu maskowano tą powierzchnię folią aluminiową. Stąd powstaje pytanie o grubość użytej folii? Zbyt duża jej grubość plus problemy montażowe mogły zwiększyć wielkość krawędzi spływowej i dodatkowo zwiększyć straty w przepływie? Jak była w rzeczywistości grubość krawędzi spływowej przy cięciu profilu 50 mm?

W opisie wyników pojawia się również porównanie rozkładu prędkości w przepływie za wirnikiem dla dwóch różnych profili. W tym miejscu celowe by było bezpośrednio pokazanie

tego porównania graficznie na wykresie dla wybranych przypadków badawczych. Dla czytelnika, porównywanie odrębnych wykresów jest uciążliwe i niewygodne.

Na rys. 4.22 przedstawiono porównanie wertykalnych profili prędkości w kanale zmierzonych za pomocą LDA i CTA i dla obydwu metod pomiarowych można tam zauważyć niewielkie ujemne wartości. Autor nie podaje typu sondy CTA, którą zostały zrobione pomiary, aczkolwiek według mojej wiedzy, pomiar CTA grzejnym drutem nie rozróżnia zwrotu wektora prędkości, a z pomiarów przedstawionych na wykresie tak można wnioskować. Skąd wynikają te ujemne wartości dla tej metody pomiaru przepływu?

Ponadto w pracy stwierdzono drobne błędy w tekście, które nie wpływają na zrozumienie wywodów, np.:

Str. 18, „...siła nośna na poziomie 150gf...”. Powinno się używać jednostek układu SI

Str. 31, „...współczynnika prędkości szczytowej...” – to jest dosłowne tłumaczenie z angielskiego, polski odpowiednik to „współczynnik szybkobieżności”.

Str. 37, ostatni akapit „... $\psi=0$ . W tym położeniu, kąt nachylenia łopatki  $\Theta$  charakteryzuje się najniższą wartością”. Wg rys np. 4.3 jest zupełnie inaczej. Ten akapit powinien chyba być zupełnie zmieniony, bo wprowadza w błąd, biorąc pod uwagę później używaną nomenklaturę.

#### **4. Wniosek końcowy**

Podsumowując, przedstawiona do recenzji rozprawa jest samodzielnym rozwiązaniem złożonego zadania naukowego, a uzyskane wyniki badań są oryginalnym wkładem doktoranta w rozwój wiedzy dotyczący zastosowania wirnika cykloidalnego dla maszyn energetycznych i stanowią podstawę do dalszych badań w zakresie rozpatrywanej w pracy dziedziny. Otrzymane rezultaty mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, a ich analiza pozwala stwierdzić, że zostały zrealizowane założone cele pracy. Przeprowadzone badania dowodzą wszechstronnej wiedzy Doktoranta w zakresie modelowania numerycznego i eksperymentu. Autor rozprawy przeprowadził złożony eksperyment oraz wykazał się dużą wiedzą w prowadzeniu badań eksperymentalnych na stanowisku pomiarowym zbudowanym osobiście, oraz wyciągnął właściwe wnioski, natury poznawczej z przeprowadzonych badań. Przedstawione w recenzji uwagi nie pomniejszają walorów naukowych pracy i nie wpływają na moją pozytywną opinię o całości pracy.

**Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Tomasza Staśko spełnia wymagania ustawy (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. z 2018 t. poz. 1668 ze zm.) o stopniach i tytułach naukowych stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Ponadto po lekturze rozprawy uważam, że osiągnięcia zaprezentowane w pracy mogą być podstawą **do wyróżnienia przedstawionej pracy doktorskiej**. W celu uzasadnienia takiego wniosku przedstawiam poniższe konkluzje:

- Doktorant zaprezentował własną konstrukcję wirnika cykloidalnego, która następnie była przedmiotem badań na stanowisku eksperymentalnym.
- Stopień trudności przeprowadzonych badań przekracza zwyczajowo spotykany w innych rozprawach. Doktorant przeprowadził analizę projektowo-konstrukcyjną układu wirnika cykloidalnego, następnie uruchomił i przetestował stanowisko do badań eksperymentalnych. Wykonał na nim szeroki zakres badań, które następnie posłużyły do walidacji i przeprowadzenia badań numerycznych.
- Uzyskane przez doktoranta wyniki potwierdzają poprawność założonego celu badawczego i są oryginalnym wkładem do analizy tego typu maszyn energetycznych przedstawianych w literaturze przedmiotu.

Ryszard Szwaba

