

Dr hab. inż. Jan Górski,  
emeryt. prof. nadzw. AGH w Krakowie  
Ul. Obrońców Poczty Gdańskiej 4/3  
35-509 Rzeszów,  
tel: 668 466 568  
e-mail: [jangorski1@wp.pl](mailto:jangorski1@wp.pl)

Rzeszów, 29.08.2022r.

## **Recenzja pracy doktorskiej**

pt.: *„Ocena możliwości zastosowania koncepcji wirnika cykloidalnego dla maszyn energetycznych”*

### **1. Podstawa opracowania**

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 23.06.2022r. oraz umowy o dzieło Nr UMC/2167/2022 z dnia 15.0.2022 r., która została zawarta pomiędzy Politechniką Śląską w Gliwicach, reprezentowaną przez prof. dra hab. inż. Mariusza Dudziaka, a niżej podpisanym jej wykonawcą.

### **2. Przedmiot recenzji**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt.: *„Ocena możliwości zastosowania koncepcji wirnika cykloidalnego dla maszyn energetycznych”*, opracowana w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach przez mgr inż. Tomasza Staśko. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Mirosław Majkut, prof. Politechniki Śląskiej, a promotorem pomocniczym dr inż. Krystian Smółka, specjalista naukowo-techniczny w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Rozprawa, wydana w standardowym formacie przez Politechnikę Śląską, liczy łącznie 134 strony druku oraz stronę tytułową i Załącznik 1. Na początku pracy umieszczono afiliację, Streszczenie w języku polskim i angielskim oraz Wykaz Oznaczeń i Skrótów. Zasadnicza część pracy (str.10 ÷ 134), została podzielona na 6 rozdziałów, obejmując przy tym blisko 200 rysunków lub szkiców oraz 7 tablic. Bibliografia odwołuje się łącznie do 93 pozycji głównie literatury anglojęzycznej w chronologii ich cytowań w tekście rozprawy, w tym 7 prac, których współautorem jest doktorant, a także kilku źródeł internetowych.

### **3. Ocena celowości podjęcia tematu, sformułowania tytułu i tez rozprawy**

Problematyka badań i doskonalenia napędów wykorzystywanych w lotnictwie, transporcie morskim czy lądowym, a także różnego typu maszyn energetycznych, stanowi od lat poważne wyzwanie dla wielu zespołów i ośrodków badawczych na całym świecie. Biorąc pod uwagę

złożoność sprzężonych zjawisk cieplno-przepływowych i mechanicznych, jakie zachodzą w rzeczywistych warunkach ich pracy, obserwujemy rozwój interdyscyplinarnych technik, które pozwalają ściśle zintegrować projektowe prace inżynierskie z niezbędnymi badaniami podstawowymi i eksperymentalnymi. Ich uzupełnieniem są obecnie zaawansowane techniki modelowania oparte o eksperyment numeryczny zweryfikowany przez badania i pomiary laboratoryjne. Pozwala to już na etapie prac studialnych wybrać optymalne rozwiązania, które warte są ich dalszej szybkiej realizacji i wdrożenia przy relatywnie niskich kosztach.

Badania dotyczące alternatywnych systemów manewrowania i napędu dla nowej generacji aparatów latających (m.in. drony, MAV, UAV, helikoptery), statków (pędniki i stery), czy też w energetyce odnawialnej, są nowym i ważnym wyzwaniem dla interdyscyplinarnych zespołów inżynierskich. O wadze i aktualności tej tematyki świadczy choćby program badawczy „NASA Morphing” samoadaptacyjnych aparatów latających a także grant CROP, dotyczący lotniczych napędów cykloidalnych, zrealizowany w ramach programu CORDIS w kilku unijnych uniwersytetach technicznych.

Wspomniane przedsięwzięcia były inspiracją do inicjacji podobnych rozwiązań w zakresie zastosowania tych doświadczeń w turbinach wiatrowych oraz maszynach energetycznych.

Opiniowana rozprawa doktorska to potrzebny i znaczący przyczynek w tym zakresie. Jest ona rezultatem badań realizowanych przez doktoranta w Zespole Maszyn Przepływowych i Technologii Energetycznych KMiUE na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Badania te wykonano.

Opis przepływów wokół profili przy niskich prędkościach, zainspirowany przez obserwacje zachowań i ruchu organizmów biologicznych takich jak ptaki, owady i inne, stał się czasów Leonarda da Vinci ponownie ważnym obszarem zainteresowań. Przepływy te istotnie się różnią od obszaru zagadnień klasycznej aerodynamiki samolotu. Przy niskich liczbach Reynoldsa ( $10^3 \div 10^5$ ), są one zdominowane przez efekty lepkościowe i bardziej złożoną strukturę przepływu w obszarze warstwy przyściennej, które są trudne do odwzorowania i modelowania. Wciąż też niewiele jest danych dotyczących efektywnych metod ich obliczeń, a także dostępnych wyników pomiarów i badań eksperymentalnych.

Recenzowana praca doktorska mgra inż. Tomasza Staśko dotyczy zatem ważnej i aktualnej problematyki badań oraz rozwoju maszyn energetycznych o specyficznej konstrukcji i zastosowaniach. Jej zasadniczy obszar obejmuje kwestie modelowania i identyfikacji złożonych zjawisk przepływowych wewnątrz i bliskim otoczeniu wirnika wentylatora cykloidalnego oraz ich weryfikacji eksperymentalnej. W tym celu Autor wykonał stanowisko badawcze w laboratorium KMiUE, gdzie prowadził liczne testy i pomiary eksperymentalne nowego typu wentylatora.

Zasadniczą część pracy poprzedza krótki wstęp (Rozdział 1) oraz Rozdział 2, który zawiera dość szczegółowy przegląd literatury przedmiotu, w tym charakterystykę dotychczasowych badań i przykłady rozwiązań konstrukcyjnych wirników cykloidalnych w ich zastosowania w lotnictwie, transporcie morskim i lądowym oraz w odniesieniu do odnawialnych źródeł energii (turbiny wiatrowe i morskie). W oparciu o aktualne źródła literatury wykorzystano tu szereg informacji związanych głównie z lotnictwem, które dotyczą projektów konstrukcji tzw. „cyklorotorów”, od ich pierwowzorów po aktualne osiągnięcia w tym zakresie. Słusznie podkreślono, że oprócz prezentowanych ich aplikacji do pojazdów lądowych i wodnych oraz kilku przypadków konwerterów energii, brak jest badań i propozycji użycia cyklorotora w systemach wentylacji mechanicznej. Rozdział ten uzasadnia

zatem w bezpośredni sposób celowość i wybór tematyki podjętych przez doktoranta badań, a także został on przygotowany merytorycznie poprawnie i wyczerpująco.

W Rozdziale 2.6 dysertacji sformułowano główne cele oraz zakres badań stanowiących zasadniczą część pracy. Autor postuluje przy tym, że koncepcja wirnika cykloidalnego może być efektywnie implementowana i zastosowana w nietypowej konstrukcji wentylatorów poprzecznych. Tezę tę doktorant wywodzi w oparciu o aktualny stan wiedzy i wyniki prac innych zespołów badawczych dotyczących aerodynamiki i budowy wirników cykloidalnych. Swoje badania realizuje dwutorowo – tj. eksperymentalnie, wykonując model wentylatora z takim wirnikiem i prowadząc liczne pomiary na stanowisku laboratoryjnym oraz analitycznie, realizując obliczenia numerycznie z wykorzystaniem dostępnych technik komputerowych.

Następne dwa, Rozdział 3 i 4, prezentują przedmiot i metodologię realizowanych badań obejmujące opis stanowiska i konstrukcji badanego wentylatora z wirnikiem zaopatrzonym w cykloidalny mechanizm regulacji łopatek, oprzyrządowanie pomiarowe i techniki pomiaru pól prędkości, a także zastosowane modele numeryczne i narzędzia obliczeniowe użyte do symulacji zjawisk przepływowych.

Doktorant zbudował laboratoryjne stanowisko badawcze w formie tunelu o przekroju prostokątnym, w którym umieszczono cztero-łopatkowy wirnik z regulowanym napędem i mechanizmem cykloidalnym. Z powodu ograniczonych danych dotyczących badań wirników cykloidalnych, do dalszych prac wybrano dwa typy klasycznych profili łopatek wirnika, tj. CLARK Y i NACA 0012 o podobnych cechach. Warto tu zauważyć, że dane geometryczne i aerodynamiczne obu profili mogły być w pracy bardziej szczegółowo zaprezentowane (np. o geometrii profili oraz ich charakterystyki aerodynamiczne, w tym tzw. biegunowa, w tym istotny dla obszaru prowadzonych badań zakres liczb Reynoldsa).

W trakcie badań eksperymentalnych autor wykorzystał tu dostępne i powszechnie uznane techniki pomiaru pól prędkości tj. anemometrię laserową LDA oraz termoanemometrię CTA.

W Rozdziale 4.1 Opisano pół-analityczny model funkcji cykloidalnej opisującej mechanizm sterujący ustawienie łopatek wirnika względem napływającego strumienia gazu. Wybór analitycznej funkcji cykloidalnej, reprezentującej zależność kąta nachylenia łopatki od wartości kąta obrotu wirnika badanego układu modelowego przy założonym zakresie zmian prędkości obrotowej i wymiarach wirnika CRF, okazał się wystarczającym dla postawionych celów. Kwestia ta może jednak w przyszłości wymagać dalszego rozważenia. Część tę uzupełnia analiza wrażliwości wybranej funkcji cykloidalnej na zmiany parametrów konstrukcyjnych mechanizmu cykloidalnego oraz ocenę niepewności pomiarów. Autor nie zestawiał jednak wartości wszystkich istotnych wielkości geometrycznych badanej konstrukcji, poprawiłoby to przejrzystość tekstu pracy.

Metodologia pomiarów stanowiskowych zawiera też krótki opis i ocenę przyjętych metod CTA i LDA, a także porównanie uzyskanych wyników rozkładu składowych prędkości gazu w kilku przekrojach kanału przed i za wirnikiem dla założonych obrotów wirnika CRF.

W Rozdziale 5, uzyskane wcześniej rezultaty pomiarów, posłużyły do dalszych symulacji i analiz obliczeniowych w oparciu o zastosowane techniki CFD w pakiecie ANSYS/CFX. Według opiniodawcy, podrozdział 4.7 mógł zostać włączony do Rozdziału 5 pracy. Szkoda, też, że autor nie wskazał w tekście lub Tabeli 4.3, jakie są potrzebne moce obliczeniowe i czas uzyskania zbieżnego rozwiązania iteracyjnego zależnie od gęstości siatki obliczeniowej S1- S5 w trakcie ich testowania i obliczeń z użyciem wybranego pakietu ANSYS/CFD.

Analizowane warianty symulacji pracy wirnika wentylatora CFR obejmowały racjonalny zakres prędkości obrotowych wirnika ( $500 \div 1000$  obr./min) oraz amplitudy kątów nachylenia łopatek  $20 \div 60^\circ$  dla łopatek typu CLARK Y i NACA 0012. Wyniki zaprezentowano analiz zaprezentowano w formie wykresów zmian pól prędkości  $C_x$  i  $C_y$  w prostokątnym kanale

przed i za wirnikiem CRF, Rys. 5.1 ÷ 5.13. Porównanie wyników tych obliczeń z pomiarami LDA wzdłuż wysokości kanału wykazuje obszary, w których rozkłady prędkości są zadowalająco zgodne przy wyższych obrotach wirnika (np. dla CLARK Y i amplitudy kąta nachylenia profilu  $\theta_0 = 40 \div 60^\circ$ ). Jednocześnie poprawnie stwierdzono, że dla profilu symetrycznego NACA 0012 i niskich amplitud kąta nachylenia łopatek  $\theta_0$  takiej zgodności nie ma, co bezpośrednio wynika z innego przebiegu ich charakterystyk aerodynamicznych i sposobu definiowania kąta natarcia profilu. Jest to szczególnie widoczne przy niższych obrotach wirnika i małych kątach nachylenia  $\theta_0 \cong 20^\circ$ , co odpowiada niższymi składowymi prędkości przepływu  $C_x$  oraz propagacji silnych zaburzeń w opływie profilu (np. Rys. 5.13 i 5.24). Potwierdzają się tym samym powody powstawania w kanale przepływowym w odległości od osi wirnika  $\pm 2R$ , asymetrycznego rozkładu prędkości i odchylenia się strug obrazujących zmiany prędkości bezwzględnej (Rys.5.17). Ujawnia to także ograniczenia dla użytkowania modelu CFD jakiego w analizie numerycznej używał autor pracy (niskie liczby Reynoldsa, zmienne kąty natarcia oraz zjawiska aeroelastyczne). Słuszność tych faktów potwierdza też oszacowanie tendencji zmian sprawności (Tabela 5.3 i 5.4) tego typu wirnika turbiny oraz wentylatora.

Zdaniem recenzenta, wyniki symulacji obrazujące pola prędkości w domenie wirnika CRF (np. Rys.5.1 i Rys.5.2) dla przypadku opływu profili CLARK Y i NACA 0012 w analogicznych warunkach, lepiej byłoby zestawiać obok siebie dla lepszej ich czytelności. Podobnie, można postąpić m.in. w przypadku kolejnych analiz (m.in. Rys.5.3 i Rys.5.14).

W oparciu o rezultaty i wyniki pracy stwierdzono, że uzasadnionym wyborem układu konstrukcji CRF może być wartości prędkości obrotowej wirnika 750 ÷ 1000 obr./min oraz typowych geometrii profili lotniczych do konstrukcji łopatek wirnika. Przeanalizowane stany pracy CRF w szerokim zakresie zmian nastaw łopatek mechanizmu cykloidalnego, wraz z właściwie zaplanowanym i żmudnym cyklem testów eksperymentalnych i numerycznych świadczą o dobrym przygotowaniu doktoranta do ambitnych wyzwań inżynierskich.

Należy tu podkreślić ogromny wkład pracy doktoranta związany z wykonaniem bardzo dużej liczby symulacji komputerowych i opracowaniem rezultatów wielu badań tunelowych. Wyniki z eksperymentu z użyciem technik LDA i pomiarów prędkości w domenie wirnika, porównano z obliczeniami numerycznymi dla tych samych geometrii układu i warunków pracy CFR. Istotny cel, w postaci odpowiedzi na pytanie czy istnieją wystarczające przesłanki do praktycznej realizacji określonej konstrukcji i konfiguracji wentylatora CFR został tu osiągnięty.

Rozdział 6 zawiera krótkie podsumowanie i wnioski doktoranta związane z realizacją tematu badawczego zaprezentowanego w dysertacji. Sformułowane wnioski są zasadniczo poprawne i mogą wskazywać kierunki dalszych prac nad opracowaniem przyszłej konstrukcji wentylatora CRF i jego zastosowań praktycznych.

Pracę, oprócz bibliografii, uzupełnia krótki Załącznik 1, w którym doktorant zamieścił skrypt podprogramu napisany w Ansys CEL.

#### **4. Uwagi szczegółowe i krytyczne**

Praca reprezentuje bardzo bogaty materiał faktograficzny i poznawczy obejmujący badania własne i przeprowadzone liczne symulacje komputerowe dla szeregu wariantów i konfiguracji pracy testowanego układu modelowego wirnika wentylatora nowego typu.



Warto wskazać, że jak dotąd, nie było udokumentowanych przykładów praktycznego wykorzystania idei wirnika cykloidalnego w systemach wentylacji mechanicznej. Jedynym, znanym recenzentowi, przypadkiem zastosowania w praktyce maszyny przepływowej o nieco zbliżonej konstrukcji był na początku XX w. tzw. „Cycloidal Low Speed Fan”, firmy Garden City Fan Co. (US Pat. No. 889,001; 26 May, 1908).

Należy także podkreślić, obszerność i walory poznawcze wynikające z analiz oraz badań przeprowadzonych przez doktoranta (świadczy o tym szereg cytowań wybranych publikacji, których jest on autorem lub współautorem).

W trakcie obliczeń wykorzystano powszechnie uznane i efektywne narzędzia numerycznej mechaniki płynów (CFD), w tym najczęściej stosowane techniki obliczeniowe ANSYS CFX, w tym modele turbulencji  $k-\epsilon$  i  $k-\omega$  SST.

W opinii recenzenta praca została przygotowana z dużą starannością oraz dbałością o stronę edytorską i merytoryczną. Pomimo to jej autorowi nie udało się uniknąć pewnych drobnych niedociągnięć, które zostały podane w dalszej części opinii. Występuje pewna ilość błędów literowych, a czasami można napotkać w tekście szereg określeń żargonowych (np.: „powierzchnia zamiatania” – zamiast „powierzchnia omiatania”; „gęstość prądu masy” – zamiast „gęstość strumienia masy”; bilansujący”, itp.).

Terminologia opisu zastosowanych typowych geometrii profilu (NACA, Clark Y) lub układu profili (palisady profili) jest mało precyzyjna z punktu widzenia powszechnie stosowanych pojęć i zasad w aerodynamice płatów nośnych. Przy braku sprecyzowanej geometrii linii szkieletowej, wartość kąta natarcia odniesiona do cięciwy nie zawsze ma bezpośredni związek z charakterystykami profilu z jego badań w tunelu aerodynamicznym. Autor nie podaje w tekście pracy w jakim zakresie liczb Reynoldsa pracują przekroje łopatek wirnika wentylatora cykloidalnego, co ma istotne znaczenie dla warunków opływu profili łopatek i związanych z tym zjawisk. Przy cyklicznie zmiennych kątach ustawienia i natarcia łopatek w trakcie obrotu wirnika następuje silne zróżnicowanie pól prędkości i ciśnień, które decyduje o powstawaniu stref oderwania na powierzchni profilu i propagacji lokalnej niestabilności przepływu.

Zjawiska niestacjonarne i zaburzenia w przepływie oraz opływie profili lotniczych przy niskich prędkościach tj. w przepływie nieściśliwym, odbiegają od tych jakie występują w zakresie dużych wartości liczb Reynoldsa ( $Re \geq 10^5$ ) i odpowiadających im silnie obciążonych aerodynamicznie powierzchni nośnych.

Należy podkreślić, co też słusznie zauważył doktorant, że łopatki cykloidalnego wirnika o dużej rozpiętości będą wskutek zjawisk aerosprężystych łatwo ulegać osiowemu ugięciu i wyboczeniu, co skutkuje wzbudzeniem drgań mechanicznych wirnika i sił dynamicznych działających na ułożyskowanie wału maszyny.

W końcowej części pracy (Rozdział 5.5), wątpliwości może budzić celowość określenia kilku sprawności proponowanego układu, w tym sprawności napędowej CRF oraz sprawności wirnika cykloidalnego turbiny wiatrowej. Niską sprawność wirnika cykloidalnego takiego typu wentylatora mogą kompensować jego dodatkowe cechy użytkowe oraz możliwość współpracy z napędem zasilanym przez OZE.

Biorąc pod uwagę aplikacyjny aspekt tej pracy w opinii recenzenta zabrakło też szerszego potraktowania i oceny wskaźników pracy wentylatora CRF takich jak spręż, wydajność i moc. Wprawdzie w Tabeli 5.4 zestawiono szacunkowe sprawności  $\eta_{CFR3}$ , w zakresie zmian obrotów wirnika  $500 \div 1000$  obr./min dla obu typów łopatek, jednak pokazane na Rys. 5.25 i Rys. 5.26 ich wartości są niezbyt zadowalające. Z punktu widzenia wymogów i przepisów UE, dopuszczających do użytkowania nowe wentylatory, wydaje się, że uzyskanie

certyfi katów dotyczących ich efektywności może być dość trudne. Tym samym ogranicza te konstrukcje maszyn do obszaru zastosowań w instalacjach specjalnych.

Warto zauważyć, że w wielu systemach wentylacji mechanicznej, najbardziej istotnym jest nie sama wartość sprawności wentylatora, ale jego elastyczność pracy (praktycznie dowolna zmiana kierunku lub rewersyjny przepływ gazu kontrolowany przez układ sterowania wirnika bez dodatkowej ingerencji z zewnątrz). Ta zdolność pracy wentylatora z wirnikiem cykloidalnym ma podstawowe znaczenie dla jego zastosowania w kurtynach powietrznych oraz systemach oddymiania i ppoż. Szkoda też, że autor nie porównał swej propozycji konstrukcji wentylatora CRF z typowym wentylatorem poprzecznym zamiast z wentylatorem osiowym (patrz, Rys.6.2).

W odniesieniu do całości tekstu rękopisu pracy w szczególności zauważono, że:

- W wykazie użytych symboli (str.5/6) brakuje oznaczeń kilku ważnych wielkości, jak np. cięciwa ( $c$ ), strzałka ( $y_{max}$ ) i grubość maksymalna profilu ( $g_{max}$ ); wymiary:  $d$  i  $e$  pokazane na Rys. 4.1a; liczba Reynoldsa ( $Re$ ).
- Na str. 39 ÷ 41 brak jest określenia wszystkich podstawowych wymiarów wirnika oraz łopatek np. w jednym zbiorczym zestawieniu co utrudnia czytelność.
- W punkcie 3.2 zbyt pobieżnie potraktowano opis i charakterystyki profili lotniczych.
- Wykaz pomyłek i drobnych niedociągnięć redakcyjnych dostrzeżonych w tekście pracy zamieszczono na końcu w Załączniku 1, Tablica 1.

## 5. Uwagi i wnioski końcowe


Zamieszczone powyżej uwagi szczegółowe mają zasadniczo charakter czysto redakcyjny i nie stanowią istotnego elementu końcowej oceny pracy doktorskiej.

- Doktorant podjął się badań oryginalnej koncepcji konstrukcji maszyny energetycznej, która ma ważne i interesujące aspekty poznawcze, a także sugeruje unikalne aplikacje inżynierskie o potencjalnie ważnych zastosowaniach. Należy także podkreślić, obszerność i walory poznawcze, które wynikają z analiz i badań prowadzonych przez doktoranta (świadczy o tym szereg cytowań wybranych publikacji, w tym kilku których jest autorem lub współautorem).
- Warto wskazać, że jak dotąd, nie było udokumentowanych przykładów badań oraz praktycznego wykorzystania wirnika cykloidalnego w systemach mechanicznej wentylacji. Jedynym, znanym mi przypadkiem maszyny przepływowej o zbliżonej konstrukcji był tzw. „Cycloidal Low Speed Fan”, produkowany przez Garden City Fan Co. w USA na początku XX w. (US Pat. No. 889,001; 26 May, 1908).
- Jako oryginalne osiągnięcia doktoranta należy w szczególności wskazać:
  - opracowanie i testowanie modelu badanego wentylatora dla szeregu wariantów pracy i konstrukcji wirnika
  - oraz poprawne i umiejętne wykorzystanie zarówno nowoczesnych technik pomiaru przepływu jak też modeli i zaawansowanych metod numerycznych ANSYS/CFD.
- Na podstawie przedstawionych w pracy metod i uzyskanych wyników badań należy stwierdzić, że doktorant dysponuje szeroką wiedzą z zakresu problematyki modelowania i pomiarów złożonych procesów przepływowych w maszynach energetycznych, a także posiada niezbędne umiejętności w posługiwaniu się współczesnymi narzędziami symulacji komputerowej.

- Rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Staśko, pomimo drobnych niedoskonałości, została przygotowana starannie i w sposób przemyślany, z odpowiednim uwypukleniem istotnych kwestii ujętych i rozwiniętych w trakcie wykonywanych licznych testów, pomiarów i badań.
- Postawione zadania, które sformułowano, ich zakres obejmujący weryfikację postawionych postulatów oraz cel pracy, został tu osiągnięty. Doktorant wykazał się przy tym dobrym przygotowaniem ogólnym i wiedzą inżynierską potwierdzoną umiejętnością prowadzenia badań, które efektywnie łączą eksperyment stanowiskowy z modelowaniem numerycznym.
- W opinii recenzenta, warto kontynuować badania eksperymentalne i testy numeryczne dotyczące wentylatora z wirnikiem cykloidalnym w oparciu o inne profile łopatkowe, które mogą być lepiej dostosowane do niskich liczb Reynoldsa rzędu  $1 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$ , a tym samym małych prędkości przepływu (patrz: *UIUC Coordinate Airfoil Database*). Ma to istotne znaczenie ze względu na szersze możliwości kontroli struktury warstwy przyściennej na ich powierzchni i powstawania stref oderwania, zwłaszcza przy zmiennych kątach natarcia. Ponadto dalsze doskonalenie tej koncepcji i optymalizacja konstrukcji wentylatora CRF może zaowocować opracowaniem maszyny o żądanych charakterystykach i walorach użytkowych atrakcyjnych dla przemysłu.

**Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej argumenty stwierdzam, że opiniowana praca Pan mgra inż. Tomasza Staśko w pełni spełnia wymogi zawarte w przepisach ustawy o stopniach i tytułach naukowych („Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, Dz. U. z 30.08.2018r. poz. 1668) oraz wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Rzeszów, 29.08.2022r.



#### **Wniosek recenzenta**

Uwzględniając unikalność i oryginalność zaproponowanej konstrukcji wentylatora, a także wyjątkowy wkład pracy włożony przez doktoranta w realizację swej koncepcji, które zostały potwierdzone już licznymi cytowaniami wyników w renomowanych periodykach naukowych, wnioskuje też o możliwość jej wyróżnienia.

Tablica 1. Wykaz dostrzeżonych w tekście pomyłek i nieścisłości redakcyjnych

Str.	Wiersz/ Rys./Wzór	Jest	Sugestie
22	4g	punktów obrotu	położenia punktów obrotu
24	17g	kierunkiem ciągu oraz jego wielkością	wektorem ciągu
29/30	1d/1g	...na krawędziach rzędu...	<i>Niezrozumiały tekst (?)</i>
31	Rys. 2.16	WAVT	VAWT
41	2d	...symetryczny oznacz to...	symetryczny o względnej grubości maksymalnej równej 12% cięciwy
44	Wzór (3.1)		<i>Brak objaśnienia symboli <math>N_c</math> (?)</i>
44	11g	...zakręcenie przepływu...	skręcenie strumienia przepływu
45	Rys.3.11	podpory	podpory
53	14g	woskokowe	skokowe
57	7g	Zmienia punkt ciężkości	Zmienia położenie środka masy
59	Tab.4.1		<i>Brak symboli <math>\pm</math></i>
62	3d	danej amplitudy	amplitudy kąta obrotu
67	2g	składowe	składowe prędkości
68	15g	Wielkość cząstki	Związek pomiędzy wielkością cząstki
73	1g	profilu 4R i 6R	przekrojów w odległości 4R i 6R
74	4d	amplitudę	amplitudę kąta nachylenia $\theta$
87	2d	osłabienie kierunkowanie przepływu	<i>Niezrozumiały termin (?)</i>
87	4g	prędkość o 25%	prędkość obrotową o 25%
91	Rys.5.6	wentylatora CLARK Y	wentylatora z łopatkami typu CLARK Y
97	6g	przesuwanie się przepływu	się strumienia przepływu
101	17d	osiowej	prędkości osiowej
101	13d	kształtu profilu	profilu - <i>czego?</i>
108	1g	z profilem NACA	z łopatkami o profilu NACA
127	14g	implikuje	komplikuje