

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
tel.: 32 237 22 27
e-mail: miroslaw.majkut@polsl.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Kurowskiego:

„WPŁYW AKTYWNYCH GENERATORÓW WIRÓW NA

OBSZAR ODERWANIA PRZEPŁYWU”

Recenzja została opracowana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN, reprezentowanym przez dr. hab. inż. Grzegorz Żywicę, prof. IMP PAN, Zastępcę Dyrektora ds. Naukowych w piśmie RN-421-18/21 z dnia 28.06.2023 r. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Ryszard Szwaba. Przedstawiona do recenzji praca, została przesłana do recenzenta w dniu 12.07.2023 i zawiera 127 stron podzielonych na pięć rozdziałów, obejmując przy tym blisko 81 rysunków lub schematów oraz 11 tablic. Bibliografia odwołuje się łącznie do 116 pozycji głównie literatury anglojęzycznej w chronologii ich cytowań w tekście rozprawy, a także kilku źródeł internetowych. Brak w bibliografii prac, których współautorem byłby Doktorant.

1. Ocena ogólna rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień związanych z poprawą właściwości aerodynamicznych opływającego obiektu poprzez wykorzystanie metod kontrolowania przepływu w wyniku redukcji strefy oderwania, przy czym jako podstawową metodę użyto aktywną generację wirów za pomocą syntetycznych dżetów. Aby zlokalizować co było przedmiotem badań należy wspomnieć, że syntetyczne dżety (SJ) to strumień płynu powstające w wyniku jego pulsacji w wolnej przestrzeni za otworem wylotowym. Płyn jest okresowo zasysany i wypychany przez komorę, w której znajduje się zwykle membrana, ograniczająca jedną lub kilka ścian bocznych komory. Otwór, lub w niektórych rozwiązaniach szczelina czy dysza, jest jedynym wlotem/wylotem do/z wnęki, dlatego średni strumień masowy w czasie wynosi zero. Z tego powodu urządzenia z zastosowaniem dżetów są często określane jako urządzenia o zerowym strumieniu masy netto. Strumień pędu wzdłuż osi otworu jest jednak niezerowy. Powoduje to kontynuację przepływu za wylotem z komory, tworząc przepływ strumieniowy podobny do strumienia ciągłego. SJ są intensywnie badane od końca ubiegłego wieku i zaproponowano już

wiele potencjalnych ich zastosowań. Znalezione je między innymi w kontroli oderwań warstw przyściennych, stabilizacji przepływu czy w poprawie wymiany ciepła. W przypadku syntetycznych dżetów generowanych przez komory z elastycznymi membranami (np. na bazie głośnika lub membrany piezoceramicznej), przy uwzględnieniu bilansu energetycznego, najkorzystniejsze warunki pracy występują w rezonansie. Dlatego wiele badań skupiało się w ostatnim czasie na lokalizacji i przewidywaniu charakterystyk rezonansowych aktuatorów, ale także na optymalizacji ich kształtów czy wymiarów charakterystycznych. Idąc tym tropem, głównym celem rozprawy, sformułowanym przez Autora, było przeprowadzenie badań wpływu autorskiego rozwiązania, zmodyfikowanego generatora syntetycznych dżetów, z okrągłym otworem wylotowym, na obszar oderwania, przy wykorzystaniu metod eksperymentalnych i obliczeniowych. Analizie poddano opracowaną i skonstruowaną przez Autora konstrukcję układu generatorów z pionowymi membranami z możliwością pracy jednej lub dwóch membran pracujących w kilku konfiguracjach. Podjęcie badań, Autor motywuje faktem, że pomimo dużej ilości badań numerycznych i eksperymentalnych, przepływy w tego typu układach są badane głównie dla układów ze szczelinami i otworami o kształcie prostokątnym, a konfiguracje dla otworów okrągłych są głównie stosowane z wykorzystaniem pojedynczych membran i wciąż stosunkowo mało rozpoznane. Z takim stwierdzeniem należy się zgodzić, gdyż wynika to z dużej możliwej liczby wymiarów i konfiguracji przestrzennych układu, silnego wpływu niewielkich odchyłeń geometrycznych na strumień wylotowy oraz specyfiki zjawisk niestacjonarnych zachodzących w dżecie. Autor dodatkowo wskazuje, że zastosowanie, prostopadłego układu membran w komorze umożliwia wykorzystanie kilku aktuatorów ustawionych w jednej linii, które mogą zachowywać się jak dżet ze szczeliną, przy dodatkowo zmniejszonym poziomie generacji zakłóceń przepływu głównego.

Zagadnienia dotyczące generatorów wirów są tematem szerokich badań od wielu już lat i prowadzone są także w zespołach IMP PAN, a w literaturze światowej znaleźć można szereg prac poświęconych tej problematyce, przy czym nie zawsze ta wiedza jest właściwie uporządkowana i głównie koncentruje się na analizie numerycznej, ze względu na zwykle trudne do właściwego przeprowadzenia badania eksperymentalne. Z drugiej strony należy także podkreślić, że współczesne metody eksperymentalne oraz coraz doskonalsze metody modelowania numerycznego i możliwości sprzętu komputerowego, pozwalają na weryfikację starszych wyników oraz lepsze poznanie fizyki tego typu zjawisk, co w efekcie pozwala na projektowanie lepszych docelowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Biorąc pod uwagę powyższe należy stwierdzić, że tematyka pracy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Kurowskiego została trafnie dobrana i jest zgodna z najnowszymi trendami badawczymi i oczekiwaniami płynącymi z przemysłu oraz że należy ona do aktualnego nurtu prac badawczych i jest istotna z punktu widzenia aerodynamiki maszyn.

2. Ocena szczegółowa

Pierwszą częścią pracy jest rozdział zatytułowany Wstęp, który zawiera krótkie wprowadzenie, stan wiedzy oraz cel i zakres pracy. Nasuwa się tutaj pytanie czy rozdział powinien nosić taką nazwę, jeżeli omawiane są w nim tak ważne dla całości pracy zagadnienia oraz precyzowany jest główny cel pracy. W rozdziale omówiono głównie rodzaje oporów aerodynamicznych oraz niektóre, wybrane, metody kontroli przepływu w celu polepszenia własności

aerodynamicznych. W rzeczywistym wstępie pracy Autor odnosi się do tematyki aerodynamiki lotu i w związku z tym myślę, że dokładniej można by opisać opory aerodynamiczne, rozpoczynając od głównego podziału w zależności od generacji z produkcją czy bez produkcji siły nośnej (z ang. parasite lub induced drag) oraz na dokładniejsze sprecyzowanie nazw rodzajów oporu jak np. opór indukowany, tarcia, szkodliwy, czy np. falowy. Zastosowany w pracy podział jest wyraźnie nakierunkowany na aerodynamikę samego płata, lecz opis w tym rozdziale tego raczej nie precyzuje. Najwięcej miejsca w rozdziale pierwszym, oczywiście jak najbardziej słusznie, Doktorant poświęca przeglądowi literaturowemu w podrozdziale 1.2, dotyczącemu tematyki badawczej rozprawy. Ma on charakter opisowy i obejmuje szczegółowe wprowadzenie do tematyki pracy. Podrozdział ten pokazuje jak dużym zainteresowaniem cieszy się podejmowana przez Autora problematyka i jak dużo do tej pory wykonano prac w tym zakresie. W tej części znaleźć można większość pozycji bibliograficznych uwzględnionych w pracy. Odczuwalne jest natomiast zgrubne potraktowanie przeglądu literaturowego dla większości innych wymienianych metod kontroli, dla których uwzględniono jedynie pojedyncze pozycje. W podrozdziale 1.2.9 zamieszczono podsumowanie stanu wiedzy, które sformułowano w kilkunastu, dość przypadkowych podpunktach. Jest to znaczący i bardzo ważny fragment pracy i zrealizowanie go w formie bardziej uporządkowanej, np. wg jakiegoś klucza, choćby wg metod kontroli przepływu czy np. typu otworu, byłby dla pracy dodatkowym atutem. W podrozdziale 1.3 sprecyzowano cel i zakres pracy oraz przedstawiono kolejne etapy prowadzonych przez Autora badań. Podsumowując ocenę tej części pracy należy podkreślić trafny dobór źródeł literaturowych przez Doktoranta. Rozdział ten stanowi logiczne wprowadzenie do zagadnień będących przedmiotem pracy, jednak nasuwa się również uwaga, o braku polemicznego i może czasami krytycznego sposobu ustosunkowania się Autora do przywoływanych źródeł, co przecież pomogłoby Mu lepiej określić punkt odniesienia dla własnych planów badawczych. Przedstawione cele są dobrze sformułowane i są następstwem przeprowadzonego przeglądu literaturowego, choć trochę słabo umotywowane przedstawionym zakresem prowadzonych badań światowych, a stwierdzenie podsumowujące, że nadal istnieją możliwości ulepszania generatorów dżetów, jest potraktowane chyba zbyt ogólnie.

Rozdział drugi zawiera opis stanowiska badawczego, krótki opis użytych metod pomiarowych jak i samego generatora dżetów. Omówione zostały różne typy generatorów oraz podane zostały liczby kryterialne. Podkreślić tutaj należy, wielki wysiłek Doktoranta w przygotowanie instalacji badawczej, konstrukcji zestawu aktuatorów i odpowiedniego systemu zbierania i obróbki danych pomiarowych. Dużą część rozdziału stanowi ważny opis wyznaczenia i kontroli prędkości wylotowej strugi czy częstotliwości rezonansowych. Jednak wydaje się, że w większość tego rozdziału mogłaby się znaleźć w rozszerzeniu przeglądu literaturowego, gdyż jest głównie podsumowaniem pracy jednego zespołu badawczego, z której wnioski i wybrane sposoby podejścia do badań przez Autora, są użyte w późniejszych częściach pracy. Większość z przytoczonych tutaj dość ważnych liczb kryterialnych w dalszej części pracy została jednak pominięta i Autor koncentruje się głównie na prędkości samego dżetu.

Rozdział trzeci poświęcony jest opisowi eksperymentalnych badań aktuatorów dżetów. Szczegółowo omawiana jest dokładność stosowanych sond termooanemometrycznych, sposoby wyznaczania prędkości dżetów, częstotliwości rezonansowych oraz wizualizacja

przepływu z użyciem techniki PIV. Jest to z pewnością cenny fragment pracy, świadczy bowiem o dużej świadomości Autora co do roli zarówno jakości prowadzonych pomiarów jak i właściwej dokumentacji prowadzonego eksperymentu. Różnorodność a także złożoność użytych metod pomiarowych świadczy także o bardzo dobrym przygotowaniu Autora w kwestiach warsztatu eksperymentatora, co w obecnym czasie szeroko używanych analiz numerycznych, niejednokrotnie bez walidacji eksperymentem, jest dużą wartością dodaną pracy i podkreśleniem wysokiej jakości warsztatu Autora. Rozdział ten jest dość dobrze zorganizowany i opisany. Nieliczne uwagi i uzupełnienia mogłyby się odnosić do lepszego opisu samego rozwiązania stanowiska badawczego w części konstrukcyjnej aktuatorów. Zamieszczony opis, dość złożonej konfiguracji montażu membran byłby bardziej przejrzysty z zamieszczonym dodatkowo schematycznym rysunkiem całej konstrukcji czy schematu jego działania a nie tylko jego elementów. Zauważalny jest także brak wyjaśnienia metody przyjęcia wielkości napięć (15 i 20V) dla których wyznaczano odpowiedź generatorów, czy np. odległości umiejscowienia włókna sondy termooanemometrycznej względem otworu. Jednak dość ważna wydaje się sprawa dokładności wyznaczenia prędkości średniej dżetu dla różnych badanych przypadków. Ze względu na charakter przepływu w dżecie możemy mieć do czynienia z różnymi rozkładami prędkości względem szerokości strugi jak i co do kierunku samej strugi i jej uśredniania. Potwierdzają to choćby dalsze badania Autora także w części wyników analizy numerycznej pracy. Rysunek 43 na stronie 59 pokazuje pomiar prędkości dżetu wykonywany w pełnych kilku cyklach zasysania i wydmuchu. Jeżeli szerokość czujnika sondy (długość drutu) jest większa niż szerokość dżetu, będzie on uśredniał cały przepływ i wyznaczał dość nieokreśloną prędkość średnią. Dodatkowo w różnej chwili cyklu część dżetu działa na wydmuchu a część już na zasysaniu. Jak ma się uśrednianie takich prędkości chwilowych w stosunku do samej istoty działania sondy termooanemometrycznej, która z zasady nie rozróżnia kierunku przepływu? Jest to istotne także ze względu na to, że danych tych Autor używa do porównań z wynikami analizy numerycznej i niejako wybiera przypadki na podstawie badań eksperymentalnych, podając ich błędy z dokładnościami do setnych części procenta w kolejnych tablicach rozdziału 4. Przydałoby się w pracy na pewno lepsze wyjaśnienie metod uśredniania wyników pomiarowych w tym względzie zarówno dla przypadków eksperymentalnych jak i numerycznych. Na rysunku 45 str. 61 przedstawiono rozkład wartości błędu pomiarowego, który następnie użyto w analizie wyników na rys 46. Czy błędy te wyznaczone były przez Autora pracy dla konkretnego typu sondy użytej w badaniach czy są to błędy ogólnie przyjmowane dla sond drucikowych tego typu? Czy nie należałoby jednak uwzględnić w wynikach na wykresie 46 także choćby odchylenia standardowego wynikającego z uwzględniania uśredniania chwilowych wartości prędkości przepływu? Podobne pytanie o jakość uśredniania danych można sformułować dla badań prowadzonych metodą PIV. W pracy wielokrotnie jest mowa o wyznaczaniu długości oderwania z uśrednionych wyników pomiaru dla dżetów (10 serii pomiarowych), jednak odczuwalny jest niedostatek opisu samej metody uśredniania dla geometrii PIV. Czy uśrednianie prowadzono wzdłuż szerokości kanału dla wszystkich 14 działających dżetów czy tylko dla jednej płaszczyzny (której)? Które dżety miały wpływ na wyznaczanie długości komórki oderwania? Dodatkowym pytaniem wynikającym z zastosowania metody PIV jest uwzględnienie zmiany częstotliwości rezonansowych aktuatorów poprzez wprowadzenie do strugi cząstek posiewu. Czy sprawdzano taki wpływ względem czasu działania i stopniowego zanieczyszczania powierzchni membran przez cząstki

3. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Kurowskiego jest ambitnym zadaniem badawczym. Problematyka kontroli przepływu i redukcji strefy oderwania z użyciem syntetycznych dżetów jest istotna zarówno z naukowego jak i poznawczego punktu widzenia. Ze względu na specyfikę przepływów w samym dziecie, a także na złożone zjawiska przepływowe w obszarze na które oddziałuje, wymagana jest duża precyzja w prowadzeniu eksperymentu oraz ostrożność w zdefiniowaniu zadania numerycznego. Praca wymagała od Autora przeprowadzenia czasochłonnych badań eksperymentalnych oraz przeanalizowania wielu przypadków obliczeniowych.

Pomimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną i stanowi wartościowe opracowanie naukowe. Praca dotyczy aktualnej tematyki badawczej i jest istotna z praktycznego punktu widzenia. Zawartość pracy zarówno w bogatej części eksperymentalnej a także i numerycznej oraz jej poziom merytoryczny świadczy, że Autor dysponuje wiedzą oraz odpowiednim doświadczeniem w rozwiązywaniu problemów naukowych.

Reasumując uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa jest obszernym opracowaniem naukowym oraz stanowi samodzielne i oryginalne rozwiązanie złożonego zadania naukowego, a uzyskane przez Doktoranta wyniki badań mają odpowiednią wartość poznawczą.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Kurowskiego spełnia wymogi Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i wnoszę o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

Uwzględniając oryginalność zaproponowanej konstrukcji, a także wyjątkowy wkład pracy włożony przez doktoranta w realizację swej koncepcji, szczególnie w części eksperymentalnej pracy, wnioskuję też o rozpatrzenie możliwości jej wyróżnienia.