

Łódź, 12 września 2021 roku

prof. dr hab. inż. Krzysztof Jóźwik
Instytut Maszyn Przepływowych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Łódzka

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Gałka p.t. „*Analiza zjawisk cieplnych i przepływowych przy wyładowaniu koronowym*”

wykonanej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Piotra Strzelczyka, prof. PRz

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej z dnia 14.07.2021 r. (pismo RM-530-01-02/18/2021)

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została oceniona według pięciu kryteriów:

1. Wybór tematu, cel i zakres rozprawy;
2. Teza naukowa i oryginalność rozprawy;
3. Metodyka badań;
4. Krytyczna analiza treści rozprawy;
5. Ocena formalnej strony rozprawy.

Wybór tematu, cel i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Gałka poświęcona jest badaniom wyładowania koronowego dla zdefiniowanych konfiguracji geometrycznych układu elektrod o określonym kształcie i wymiarach, w szczególności mającym na celu określenie możliwości zastosowania wyładowania koronowego do chłodzenia. Wyładowanie koronowe, najprościej ujmując, powstaje w efekcie istniejącej odpowiedniej różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami, a powstająca struga jonów jest napędzana oddziaływaniem pola elektrycznego wywołując ruch otaczających cząstek powietrza. Ruch cząstek odbywa się także poza bezpośrednim obszarem elektrod i może być wykorzystywany np. w celu chłodzenia punkowego lub obszaru o określonej średnicy. Parametry związane z napięciem, kształtem elektrod, ich wzajemnym położeniem są decydujące dla uzyskania odpowiedniego przepływu, a jego propagacja do przestrzeni poza elektrodami może być wykorzystywana do chłodzenia. Istotne jest określenie wpływu parametrów istotnych dla parametrów wyładowania koronowego na efektywność chłodzenia, a szerzej – transportu ciepła. W przedstawionej do recenzji rozprawie podjęto się określenia wpływu parametrów geometrycznych oraz wartości różnicy potencjałów zdefiniowanej konstrukcji generatora wyładowania koronowego na właściwości płynącej strugi czynnika, które można wykorzystać w technice transportu ciepła. W tym wypadku skupiono się na określeniu wpływu parametrów geometrycznych na efektywność chłodzenia i możliwość

wykorzystania generatorów wyładowania koronowego, a właściwie wygenerowanego w nich przepływu do chłodzenia w urządzeniach technicznych.

Podjęta w rozprawie tematyka wydaje się istotna z punktu widzenia poprawności pracy różnych układów elektronicznych, w których ograniczenia przestrzeni utrudniają efektywność chłodzenia przy zastosowaniu, można nazwać, tradycyjnych metod. Jest to więc zagadnienie aktualne i istotne ze względów poznawczych i aplikacyjnych, a jego poprawna realizacja umożliwi zrozumienie zjawisk i oddziaływania parametrów pracy i geometrycznych generatora wyładowania koronowego dla zastosowań chłodniczych.

Na stronie 17 sformułowano cel pracy, który zawarto w czterech istotnych punktach – jakimi są implementacja modelu numerycznego, opisującego przepływ generowany wyładowaniem koronowym, w środowisku dedykowanym symulacjom numerycznym przepływu, porównanie wyników z symulacji z wynikami eksperymentu i określenie poprawności modelowania, a także porównanie uzyskanych wyników z parametrami przepływów spotykanych w szerszym kontekście technicznym, wyznaczenie wartości rozkładu współczynników przejmowania podczas chłodzenia strugą generowaną wyładowaniem koronowym i sformułowanie korelacji pomiędzy parametrami charakterystycznymi dla wymiany ciepła i przepływu elektrohydrodynamicznego. Dla tak określonego celu Autor podał zakres niezbędnych prac koniecznych do zrealizowania, który obejmował:

- budowa modelu matematycznego i jego implementacja w środowisku numerycznym do przeprowadzania symulacji przepływu,
- przeprowadzenie eksperymentu i wyznaczenie profili prędkości dla zmiennych wybranych parametrów pracy i geometrycznych generatora wyładowania koronowego,
- analiza porównawcza, w tym porównanie do parametrów przepływu strugi ograniczonej,
- przeprowadzenie eksperymentu i określenie parametrów wymiany ciepła podczas chłodzenia strugą generowaną wyładowaniem koronowym,
- określenie bezwymiarowych parametrów charakteryzujących konwekcję na płycie w oddziaływaniu strugi generowanej wyładowaniem koronowym,
- wyznaczenie promieniowego profilu zredukowanej liczby Nusselta.

Podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza mieści się w aktualnym obszarze zainteresowania przemysłu i jest interesująca również pod względem poznawczym. Tym samym stwierdzam, że problematyka jest dysertabilna i można ją zakwalifikować do dyscypliny Inżynieria mechaniczna.

Teza naukowa i oryginalność rozprawy

Autor nie sformułował tezy naukowej pracy, co nie jest błędem, ale wydaje się, że zdefiniowanie tezy ułatwia organizację całego procesu, jak i redagowanie rozprawy.

Określając oryginalność pracy należy się odnieść do zdefiniowanych celów i zakresu pracy. Te wynikają bezpośrednio z przedstawionego stanu wiedzy, co omówione zostało zarówno we wstępnej części rozprawy, jak i w dalszych rozdziałach, odnosząc się bezpośrednio do zagadnień tam poruszanych. Wstępny rozdział, zatytułowany „Przegląd literatury” daje obraz stanu badań w obszarze przepływów wywołanych wyładowaniem koronowym. Efektem

jest sformułowanie celów i zakresu, i w tym też miejscu pojawia się dokładne rozróżnienie zakresu badań realizowanych w dysertacji od innych opisanych w literaturze.

Cele i zakres pracy budzą nadzieje, że poprawna realizacja badań i ich omówienie stanowić będzie oryginalny wkład zarówno w obszar aplikacyjny, jak i poznawczy dyscypliny Inżynieria mechaniczna.

Metodyka badań

Doktorant w pracy przeprowadza serie badań numerycznych i eksperymentalnych wykorzystując do tego zdefiniowany model fizyczny i matematyczny przełożone na implementację w środowisko numeryczne zjawisk elektrohydrodynamicznych, skonstruowane i wykonane stanowiska badawcze. Dla realizacji zakresu pracy skonstruowano i wykonano model generatora wyładowania koronowego, który umożliwia modyfikację wybranych parametrów geometrycznych, jak i napięcia zasilającego elektrody. W dalszej części eksperymentalnej wykonano stanowisko umożliwiające wyznaczenie parametrów wymiany ciepła, a przede wszystkim konwekcji swobodnej i wymuszonej. Zarówno badania numeryczne, jak i eksperymentalne pozwoliły na uzyskanie znaczącego zbioru danych. Do symulacji numerycznych wykorzystano środowisko MOOSE, a dla realizacji eksperymentu – przede wszystkim system LabVIEW.

Podstawą realizacji pracy są eksperyment numeryczny, badania eksperymentalne na stanowiskach badawczych, ale także informacje z literatury dotyczące zjawisk uznanych za podobne (np. przepływ strugi ograniczonej). To niezwykle cenne, że w dobie modelowania i symulacji realizuje się jeszcze prace eksperymentalne, a następnie dokonuje analizy porównawczej uzyskanych wyników. Jest to tym bardziej cenne, że zakres badań przedstawiony w opisie dotyczy wielu parametrów i określenia ich wpływu na wielkości określające skuteczność i funkcjonalność badanego układu. Istotnym jest, że dla badań eksperymentalnych Autor określił niepewności. Bardzo szeroki zakres badań nie pozwolił jednak na dokonanie uogólnień, a uzyskane wyniki dotyczą raczej wybranej konstrukcji generatora wyładowania koronowego. Otwiera to dalszą drogę weryfikacji uzyskanych wyników na inne konstrukcje i możliwość generalizowania uzyskanych zależności.

Proponowana metodyka nie budzi zastrzeżeń.

Krytyczna analiza treści rozprawy

W pracy nie zawarto spisu używanych symboli, natomiast opis znaczenia symboli znajduje się pod wzorami, w których się pojawiają. Nie dotyczy to wszystkich symboli i występują powtórzenia – ten sam symbol użyto do oznaczenia więcej niż jednej wielkości fizycznej.

Rozdziały 1 i 2

We wstępie (strona 2) oraz przeglądzie literatury (strona 11) niefortunnie użyto pojęcia metodologia. Metodologia to nauka o metodach, a w znaczeniu kontekstu w pracy powinno być metodyka lub metoda.

Rozdział 4

Na stronach 27 i 28, w podrozdziale 4.1.2, pojawia się we wzorach zapis liczb dziesiętnych, przy czym jako separatora użyto znacznika końca zdania. W języku polskim używa się „przecinka” do oddzielenia części całkowitej od ułamkowej zapisu dziesiętnej liczby.

W podrozdziale 4.3 po raz pierwszy, ale jest to powtórzone wielokrotnie w pracy, pojawia się slang inżynierski dotyczący całkowania, a dokładnie „całkowanie po powierzchni, całkowanie po objętości, itp.”.

Rozdział 6

Na stronie 71 w podrozdziale 6.6.2 już w pierwszym zdaniu niefortunnie użyto stwierdzenia, że głównym wynikiem części przepływowej Ten skrót myślowy powoduje jednak, że nie ma sensu całe zdanie.

Niezrozumiałe jest także stwierdzenie zawarte w kilku podpisach do rysunków w tym rozdziale (rysunki od 6.11 do 6.15). Co oznacza „numeryczny profil prędkości”?

Na stronie 77 (ostatni akapit) zapisano „*Profile modułu prędkości badanego przepływu elektrohydrodynamicznego otrzymane numerycznie i ubezwymiarowane przy użyciu...*”. Czy należy rozumieć, że autor miał na myśli przedstawienie profili modułów prędkości dla zmiennych bezwymiarowych ...?

Rozdział 7

Na stronie 85 w podrozdziale 7.3 użyto pojęcia błędu względnego dla opisu dokładności pomiaru ciśnienia. Błąd jest pojęciem abstrakcyjnym i odnosi się do różnicy nieznannej wartości rzeczywistej rozpatrywanej wielkości fizycznej i wartości zmierzonej. Podobnie pojęcia błędu użyto w przypadku regresji Yorka (strona 86, podrozdział 7.3.1).

W tym samym akapicie na stronie 85 jest wytłumaczenie zmiany symbolu dla oznaczenia prędkości (z u na v) i ma to dotyczyć jedynie tego rozdziału ze względu na tradycyjnie ponoć oznaczanie symbolem u niepewności.

Na końcu podrozdziału 7.3.1 pojawia się pojęcie niepewności standardowej (strona 88). Co to jest niepewność standardowa?

Na stronie 90 w podrozdziale 7.3.2 nie jest jasno wytłumaczone w jaki sposób określono niepewność wyznaczania promienia rurki i długości włókna termooanemometru.

W podrozdziale 7.3.3 (strona 91) mówi się o niepewności pomiaru prędkości przepływu i określa się ją w procentach. To raczej niepewność względna? A dalej w tym samym akapicie zapisano, że przypadkowy wpływ prądów konwekcyjnych (jako jeden z możliwych przypadków) może być większy niż niepewność pomiaru. To jest niezrozumiałe podejście. Analiza dokładności ma pozwolić na uwzględnienie w niepewności takiego wpływu lub wyeliminowanie takiego wpływu we wstępnej analizie wyników pomiaru.

Na stronie 100 w podrozdziale 7.4.2 zapisano w drugiej linii od dołu strony „...mniej więcej...”. Dla rozprawy w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna” to bardzo nieprecyzyjne określenie.

W podrozdziale 7.4.3.(strona 104) omyłkowo wyrażono napięcie w milimetrach.

Rozdział 8

W podrozdziale 8.4 (strona 122) zapisano „*W przypadku emisyjności folii ze stali nierdzewnej ϵ_f , emisyjność folii pokrytej warstwą farby grafitowej ϵ_g oraz współczynnika przewodzenia ciepła stali nierdzewnej granice te przyjęto jako $\pm 5\%$ wartości zastosowanej w obliczeniach.*” Proszę o uzasadnienie tak przyjętej wartości.

W podrozdziale 8.5.2 na stronie 129 ponownie pojawia się nieprecyzyjne określenie dotyczące porównania wyników i brzmi ono „*zgadza się ona stosunkowo dobrze z wynikami eksperymentu*”.

Na stronie 148 (podrozdział 8.6.4) dla określenia powierzchni użyto niefortunnie kształtu okrągłego, a raczej dotyczy to koła.

Ocena formalnej strony rozprawy

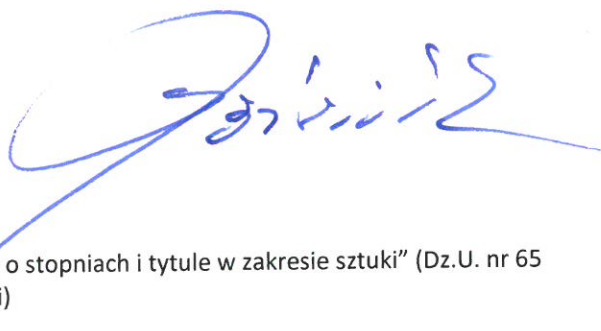
Licząca 176 stron praca składa się z 9 rozdziałów, spisu literatury, spisu ilustracji, załącznika, w którym przedstawiono kod źródłowy dla obiektu typu *Kernel*, streszczeń w języku polskim i angielskim. W spisie literatury zwarto 190 pozycji cytowanych źródeł literaturowych oraz stron internetowych (w znamienitej mniejszości), ale nieusystematyzowanych alfabetycznie. Praca napisana jest poprawnym językiem, ale występują liczne błędy interpunkcyjne i stylistyczne. W wielu miejscach występują tzw. „wdowie” tytuły rozdziałów (tytuł rozdziału i bez jakiegokolwiek tekstu, podrozdział i jego tytuł). Zapis liczb i symboli ze znakiem równości nie zawiera spacji pomiędzy symbolem równości i wielkościami lub wartościami. W podpisach do rysunków i opisach tabel użyto kropki na końcu podpisów – są to równoważniki zdań i kropka oznaczająca koniec zdania nie jest wymagana.

Podsumowanie

Pomimo drobnych uchybień i nieścisłości, które zawarłem w recenzji, uznaję, że mgr inż. Rafał Gałek w Swojej rozprawie doktorskiej zawarł istotne osiągnięcia wynikające ze zrealizowanych badań. Zaliczam do nich opis struktury przepływu strugi wygenerowanej wyładowaniem koronowym, weryfikację warunków jej powstawania, potwierdzony analizą numeryczną, jak i badaniami eksperymentalnymi. Niezwykle istotne jest także wykazanie przez Doktoranta, że struga wygenerowana wyładowaniem koronowym może w wyznaczonych przez Niego granicach intensyfikować wymianę ciepła. Bardzo duży materiał zgromadzony podczas badań pozwoli w przyszłości na jego dalsze wykorzystanie i podjęcie prób uogólnienia, szczególnie istotnego z punktu widzenia aplikacji i konstruktorów, aby można precyzyjnie określić możliwości i sposoby konstruowania generatorów wyładowania koronowego do konkretnego zastosowania.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska posiada istotny ładunek wiedzy praktycznej. Temat pracy odpowiada zawartej w niej treści. Na podstawie analizy treści pracy doktorskiej uważam, że cel naukowy został osiągnięty.

Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że Autor rozwiązał problem naukowy związany z Inżynierią mechaniczną, choć swym zakresem stanowi podejście interdyscyplinarne. Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Rafała Gałka spełnia kryteria określone Ustawą¹ w sprawie trybu i warunków przeprowadzania przewodów doktorskich i może być dopuszczona do dalszych etapów procesu.



¹ Ustawa „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. nr 65 poz. 595 z dn. 14 kwietnia 2003 r. z późniejszymi zmianami)