

Kraków, 01.09.2022

Dr hab. inż. Artur Cebula, prof. PK
Politechnika Krakowska
Katedra Energetyki
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków
acebula@pk.edu.pl
tel. 12 6283578, 605102923

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Kędzierskiego pt.:

Badania eksperymentalne i modelowanie pracy niskoprężnych strumienic dwufazowych cieczowo-gazowych

1) Podstawa opracowania

Podstawę do opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kędzierskiego stanowi pismo przewodniczącego rady dyscypliny naukowej *Inżynieria Mechaniczna* Politechniki Białostockiej, prof. dr hab. inż. Romualda P. Mosdorfa (pismo nr WM-IIM.4130.8.22 z 06.07.2022 r.).

2) Przedmiot rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa dotyczy zagadnień związanych ze strumienicą dwufazową i opracowania narzędzia obliczeniowego do doboru i określenia parametrów pracy strumienicy. Przedstawiona praca ma charakter eksperymentalny. Cel pracy, jaki postawił przed sobą doktorant, to opracowanie zależności eksperymentalnych na: współczynnik prędkości komory mieszania, bezwymiarową długość fali mieszającej oraz bezwymiarowy współczynnik lokalizacji fali mieszającej. Opracowane równania służą do doboru parametrów geometrycznych strumienicy oraz do wyznaczenia sprawności i wydajności strumienicy cieczowo-gazowej.

3) Zakres rozprawy

Rozprawa zawarta jest na 183 stronach. Składa się z ośmiu rozdziałów, poprzedzonych spisem treści i wykazem oznaczeń. Praca zakończona jest wykazem literatury, spisem tabel i rysunków, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz załącznikami. Rozprawa powstała pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Dariusza Butrymowicza.

Praca zaczyna się wstępem, w którym przedstawiono zakres pracy oraz motywację do jej podjęcia.

Rozdział drugi to „Krytyczny przegląd literatury”. Rozdział ten poświęcony jest analizie literatury dotyczącej zagadnień oraz wyników badań nad strumienicami dwufazowymi. Wskazano, że dotychczasowe badania nad strumienicami do oczyszczania gazów spalinowych nie pokrywają w pełnym zakresie wiedzy w tym temacie. Brakuje kompleksowych badań, które pozwolą na dobranie parametrów geometrycznych i wydajnościowych strumienic do oczyszczania gazów.



Cel pracy został przedstawiony w rozdziale „3. Cel i teza pracy”. Podstawowym celem pracy jest opracowanie narzędzia do predykcji parametrów wydajnościowych strumienicy cieczerwogazowej o zadanej geometrii. Jako tezy pracy zapisano natomiast:

Na parametry wydajnościowe strumienicy mają zasadniczy wpływ zarówno parametry pracy jak i geometria elementów składowych takiej strumienicy.

Jest możliwe zaproponowanie zależności kryterialnych opisujących położenie oraz szerokość fali mieszającej.

W rozdziale 4 opisano stanowisko badawcze, na którym przeprowadzono pomiary. Przedstawiono stanowisko oraz kolejne jego modyfikacje niezbędne do przeprowadzenia badań w całym założonym zakresie. Stanowisko bardzo dobrze zilustrowano poprzez zamieszczenie fotografii z czytelnym opisem. Autor zawarł w pracy rysunki i schematy strumienicy dwufazowej. Jasno i precyzyjnie ukazano strumienice o różnej długości komory mieszania. Pokazano dysze, jakie były używane w eksperymentach, na zdjęciach oraz na rysunkach technicznych.

Układ pomiarowy, aparatura pomiarowa, schemat układu akwizycji danych przedstawiono w rozdziale 4.2. Ponadto w tym rozdziale przedstawiono oprogramowanie użyte do akwizycji i obróbki danych pomiarowych.

Szczegółowy plan badań przedstawiono w rozdziale 4. Autor opisał poszczególne kroki, które prowadził przy uruchamianiu badań, aby zapewnić stabilne i powtarzalne warunki pomiarowe. W rozdziale 4.3.3 przedstawiono procedurę, która umożliwiła pomiar długości fali mieszającej oraz określenie jej lokalizacji. Opisano procedurę, która polegała na pomiarze ciśnienia w dyskretnych punktach oraz na analizie obrazu ze zdjęć wykonanych kamerą cyfrową.

Wyniki obszernych badań eksperymentalnych zaprezentowano w rozdziale „5. Wyniki badań eksperymentalnych”. W poszczególnych podrozdziałach autor przedstawił wyniki kolejnych badanych wielkości. Następnie w podrozdziale 5.1 autor przedstawił wyniki wpływu lokalizacji dyszy napędowej na ilość zasysanego gazu przez strumienicę. Wyniki są zgodne z przewidywaniami i wynikami innych badaczy, którzy prowadzili prace nad wpływem lokalizacji dyszy napędowej na wydajność strumienicy.

W rozdziałach 5.2 i 5.3 pokazano wyniki, których celem było zlokalizowanie fali mieszającej i jej długości poprzez pomiar ciśnienia (rozd. 5.2) oraz analizę obrazu (rozd. 5.3). Dalsze podrozdziały pokazują obszerne wyniki z prac eksperymentalnych, gdzie w podrozdziale 5.4 przedstawiono charakterystyki dla badanych strumienic. Podrozdział 5.5 przedstawia otrzymane sprawność strumienicy od stosunku zasysania dla: zasysanego gazu (powierza, dwutlenku węgla), różnych długości komory mieszania, różnych rodzajów dysz.

W rozdziale 6 przedstawiono model obliczeniowy strumienicy cieczerwowodnej, który budowano na podstawie wyników empirycznych. W podrozdziale 6.2 autor przedstawił założenia do budowanego modelu między innymi założenia, że:

- model dotyczy zagadnień ustalonych,
 - zachodzi równość ciśnień między fazami,
 - proces sprężania jest izotermiczny,
- oraz inne.

Model oraz poszczególne jego równania pokazano w podrozdziałach 6.3, 6.4. Walidacja modelu została przedstawiona w rozdziale 6.5, gdzie porównano otrzymane wyniki z modelu z wynikami eksperymentalnymi. Wielkości, dla których opracowywano korelacje oraz przeprowadzono porównanie z wynikami pomiarów to:

- współczynnik prędkości komory mieszania,
- długość fali mieszającej,
- początek powstawania fali mieszającej.

Aplikacyjne zastosowanie strumienicy dwufazowej do oczyszczania spalin pokazano w rozdziale 7. W tym rozdziale przedstawiony jest projekt z reaktorem strumieniowym, w którym to projekcie doktorant brał udział. Wyniki i osiągnięcia zaprezentowane w tym rozdziale nie są brane do osiągnięcia naukowego rozpatrywanej pracy. Przedstawiony materiał ma charakter informacyjny i tak jest przez recenzenta traktowany.

Wnioski z pracy i jej podsumowanie jest zaprezentowane w rozdziale „8. Podsumowanie i wnioski”. Autor podaje w podsumowaniu pięć głównych wniosków wynikających z realizacji pracy, ponadto autor sformułował i podał wnioski szczegółowe.

4. Uwagi krytyczne oraz dyskusyjne do pracy

- 1) W rozdziale „3. Cel i teza pracy” autor przedstawia planowane do osiągnięcia cele i tezy. Autor podaje „Celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie narzędzia pozwalającego na predykcję parametrów wydajnościowych strumienicy cieczo-gazowej o zadanej geometrii” Jest to jasno sprecyzowany cel. Natomiast dalej autor podaje „Podstawą do opracowania tego narzędzia jest przeprowadzenie systematycznych badań eksperymentalnych *takiej* strumienicy w *taki* sposób, aby było możliwe opracowanie równań zamykających model strumienicy oparty” Rodzi się pytanie: jakiej strumienicy i w jaki sposób? Należałoby powyższe doprecyzować.
Czy praca posiada jedną tezę czy więcej? W przedstawionym rozdziale nie można tego jednoznacznie stwierdzić. Należałoby podać wykaz tez w jednoznaczny sposób na przykład:
Teza pracy:
1. Jest możliwe
2.
- 2) W pracy używa Pan pojęcia „równań zamknięcia” (np. na str. 148). Nie ma jednak nigdzie wyjaśnienia używanego pojęcia.
- 3) W rozdziale 6.5 przedstawiono rysunki 6.4 i 6.5. Dlaczego nie ma w tekście odniesień do tych rysunków? Należałoby skomentować wyniki zamieszczone na rys.6.3-6.5.
- 4) Jaki jest wpływ chropowatości powierzchni strumienicy na wyniki? Czy to było sprawdzane? Jaka jest chropowatość wykonania rurowej komory mieszania. Na rysunku w załączniku 3 występuje oznaczenie chropowatości 2.5, jednak nie podany został symbol skali. Czy chodzi o Ra, Rz czy inną skalę lub klasę?
- 5) W rozdziale 5.1 przedstawiono rysunek 5.1. Rysunek ten pozostaje nieopisany, czytelnik musi się domyślać, co jest na nim przedstawione. Co oznaczają poszczególne krzywe? W legendzie są zaznaczone tylko 2 krzywe spośród 4. Co oznaczają poszczególne parametry w legendzie? W opisie osi pionowej występuje mg (ilość zasysanego gazu), podczas gdy w tekście i tabeli ilość zasysanego gazu to m_g .
- 6) W tabeli 4.6 przedstawiono wyniki pomiarów ciśnienia z dokładnością do $1 \cdot 10^{-1}$ Pa a nawet $1 \cdot 10^{-2}$ Pa. Czy taka dokładność pomiarów była wymagana i możliwa do osiągnięcia? Jakiej klasy przyrządów użyto do tych pomiarów?
- 7) Na stronie 85 w rozdziale 5 jest: „Szczegóły procedury badawczej opisano w Rozdziale 4.3 oraz 4.4.”. W pracy nie ma rozdziału 4.4.
- 8) Na stronie 39 w rozdziale 4.1 podano: „W każdym ze stanowisk eksperymentalnych można wyróżnić główne elementy, takie jak: zbiornik buforowy, układ pompowy, strumienica dwufazowa, zbiornik pośredni gazu ...” Na rys.4.1 nie występuje zbiornik, czy zatem zdanie powyższe jest prawdziwe?

- 9) Na stronie 42 podane jest: „Na potrzeby serii badań strumienicy wodno-gazowej rozbudowano drugie stanowisko o zbiornik dwutlenku węgla T03.” Jakie drugie stanowisko autor ma na myśli? We wcześniejszym tekście jest mowa o jednym stanowisku modyfikowanym na potrzeby badań. Czy zatem było budowanie inne stanowisko? Ta kwestia nie jest jednoznacznie wyjaśniona.
- 10) Na stronie 17 jest „Należy podkreślić, że przedmiotem niniejszej rozprawy jest strumienica cieczerw-gazowa z cylindrczną komora mieszania, w której zachodzą zjawiska przemian fazowych”. Zdanie jest błędne, powinno być: „ (...) w której nie zachodzą zjawiska przemian fazowych.”
- 11) Przedstawione zdjęcia w rozdziale 5.3 na rysunkach 5.6 i 5.7 są sporym osiągnięciem doktoranta w aspekcie poznawczym. Przedstawione zdjęcia pokazują, że doktorant wnosi nową wiedzę w dziedzinie, w której prowadzi badania. Tymczasem są one bardzo małe i nieczytelne. Nasuwa się pytanie dlaczego doktorant nie zdecydował się na powiększenie np. zdjęcia z rysunku 5.6 i zaznaczenia strzałkami poszczególnych stref?

5. Uwagi redakcyjne

- 1) Oznaczenia wielkości powinny być pisane kursywą, natomiast w rozdziale 2 pisownia oznaczeń jest nieujednoliconona, strony 15-17.
- 2) Na stronie 22 występują błędy interpunkcyjne: „1,5 do2,5”, „Niestety, w tej ;pracy.”, „10- 15%”.
- 3) Na stronie 30 występuje niewyjaśniony skrót MARPOL, należałoby podać pełną nazwę.
- 4) Na stronie 141 podano $\dot{V}_l = 30l/min = 5 \cdot 10^{-4}l/min$, taki zapis jest błędny.
- 5) Na stronie 141 podano, że ze wzoru 6.65a (zależność na L_b/D_n) otrzymuje się „ $L_m/D_n = 369.8, \dots$ ”. Wydaje się, że zapis jest błędny.
- 6) Na rysunku 6.1 występuje wielkość A_{gi} . W tekście jest wyjaśnione, że jest to powierzchnia wlotowa do komory ssawnej. Na rysunku strzałka niejednoznacznie pokazuje, o którą powierzchnię chodzi. Ponadto nie wiadomo czego dotyczy symbol m na rys. 6.1?
- 7) Na stronie 24 zdanie zaczynające się od „Analiza uwarunkowań ...” jest niedokończone.
- 8) Tabela 2.1 posiada tytuł, który jest niezrozumiały. Należałoby podać poprawny podpis.
- 9) W tekście występują nieprawidłowe odwołania do rysunków.
Na stronie 21 jest „Schemat działania strumienicy z wykorzystaniem zawirowywacza gazu został przedstawiony na schemacie 2.3.”. Jest to błędny opis, powinno się odnosić w tekście do rysunków czyli „Schemat działania strumienicy z wykorzystaniem zawirowywacza gazu został przedstawiony na rys. 2.3.,, Podobnie jest na stronie 13 i 15, „Schemat przedstawiono na zdjęciu 2.1 ...” Na rysunku 2.1 nie ma zdjęcia a ponadto w tekście powinno być „Schemat przedstawiono na rys. 2.1 ...”.
Na stronie 29 jest „co ukazuje mapa. 2.4” powinno być „co ukazuje mapa przedstawiona na rys.2.4”.
Podobnie, na stronie 30 jest odwołanie do „mapie.2.4” , „wykres2.5” co jest nieprawidłowe. Na stronie 30 jest odwołanie do „wykres 2.5” powinno być rys.2.5
Na stronie jest odwołanie do „Zdjęcie 2.8” powinno być rys. 2.8.

6. Ocena rozprawy

Moim zdaniem tematyka pracy jest aktualna i porusza trudny temat przepływu w strumienicy cieczowo-gazowej. Rozprawa zawiera oryginalne wyniki badań eksperymentalnych i analizy tychże wyników. Na uwagę zasługuje ich kompleksowy charakter. Za główne osiągnięcia Autora recenzowanej pracy uważam:

- 1) Zwrócenie uwagi na możliwość zastosowania strumienicy dwufazowej do oczyszczania spalin w transporcie morskim. Zaproponowanie w związku z tym nowego podejścia do ograniczenia emisji z siłowni spalinowych jednostek morskich.
- 2) Zbudowanie i modyfikacja stanowiska pomiarowego dla kilku wariantów pomiarowych oraz zaprojektowanie i budowa strumienic dwufazowych.
- 3) Opracowanie charakterystyk a następnie zależności do obliczenia parametrów przepływu w strumienicach dwufazowych. Otrzymano zależności na położenie oraz długość fali mieszającej na podstawie przeprowadzonych szeroko zakrojonych badań.
- 4) Opracowanie modelu matematycznego do analizy sprawności strumienicy od parametrów geometrycznych. Model ten zawiera parametry uwzględniające przepływ dwufazowy: poślizg między fazowy oraz stopień wypełnienia.

Pod względem formalnym praca nie nasuwa wątpliwości. Napisana jest z dbałością o poprawność językową z dobrze dobranym materiałem ilustracyjnym.

7. Wnioski końcowe

W podsumowaniu stwierdzam, że podniesione przeze mnie uwagi krytyczne do rozprawy mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy, którą oceniam wysoko. Oceniana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego, jakim było opracowanie modelu obliczeniowo-predykcyjnego strumienicy. Cele naukowe pracy zostały osiągnięte poprzez przeprowadzenie badań empirycznych, tezy pracy zostały potwierdzone.

Na podstawie przedstawionej do oceny pracy stwierdzam, że Doktorant wykazała się opanowaniem złożonych podstaw teoretycznych dotyczących analizowanych w pracy zjawisk przepływowych, znajomością aktualnego stanu osiągnięć w zakresie strumienic dwufazowych oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań oraz formułowania wniosków.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pan mgr inż. Mateusza Kędzierskiego pt. „Badania eksperymentalne i modelowanie pracy niskoprężnych strumienic dwufazowych cieczowo-gazowych” spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Art. 187 Ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, Poz. 1668 z późniejszymi zmianami).

Biorąc powyższe pod uwagę, stawiam wniosek do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pan mgr inż. Mateusza Kędzierskiego do publicznej obrony. Wnioskuje także o jej wyróżnienie, które uzasadniam przeprowadzeniem przez Doktoranta unikalnych badań eksperymentalnych. W celu przeprowadzenia badań modyfikowano stanowisko badawcze, przeprowadzono szeroko zakrojoną kampanię pomiarową następnie na podstawie otrzymanych wyników opracowano model obliczeniowy strumienicy cieczowo-gazowej.

Robert Artur
Or 5