

dr hab. inż. Wojciech Sobieski, prof. UWM
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
10-957 Olsztyn, ul. M. Oczapowskiego 11
e-mail: wojciech.sobieski@uwm.edu.pl
tel.: (89) 5-23-32-40
fax: (89) 5-23-32-55

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt.:
„Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych
separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej”

1. Opis ogólny rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt. „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej” obejmuje łącznie 153 strony tekstu, przy czym treść zasadnicza zajmuje 128 stron, a pozostałe strony to dedykacja, spis treści, lista symboli i oznaczeń, spis literatury, spis rysunków i tabel, załącznik oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Objętość pracy odpowiada standardom rozpraw doktorskich i nie budzi żadnych zastrzeżeń, podobnie jak jakość i liczba materiałów źródłowych (łącznie 112 pozycji).

Rozdział 1 rozprawy zawiera ogólny opis systemu olejowego turbinowego silnika lotniczego oraz przegląd wybranych zagadnień dotyczących procesów separacji mieszaniny oleju i powietrza, a także opis separatorów cyklonowych. W kolejnych sekcjach przedstawiono ogólną budowę separatorów cyklonowych, opisano występujące w nich zjawiska i procesy, zdefiniowano wskaźniki charakteryzujące pracę tego typu urządzeń oraz zaprezentowano najpopularniejsze rozwiązania konstrukcyjne. W końcowej części rozdziału zawarto przegląd literatury, ze szczególnym uwzględnieniem prac poświęconych badaniom optymalizacyjnym.

Rozdział 2 zawiera tezy pracy, założenia co do zakresu badań oraz krótki opis metodyki badawczej.

W Rozdziale 3 zestawiono najpopularniejsze modele analityczne przeznaczone do obliczania wybranych cech separatorów cyklonowych oraz przeanalizowano literaturę w kontekście modeli numerycznych stosowanych w badaniach symulacyjnych tego typu urządzeń. Dużą wagę przywiązano do kwestii modelowania zjawiska turbulencji.

W Rozdziale 4 przedstawiono możliwe koncepcje modelowania układów wielofazowych. W kolejnych akapitach omówiono Model Fazy Dyskretnej, Model Mikstury, Wielofazowy Model Eulera oraz Model Objętości Płynu. W końcowej części rozdziału skupiono się na krótkim omówieniu zagadnienia modelowania turbulencji.

Rozdział 5 zawiera opis stanowiska pomiarowego oraz opis modelowego separatora lotniczego. W dalszej części rozdziału opisano sposób wykonania badań oraz zestawiono wyniki pomiarów dla 4 wybranych punktów pracy.

W Rozdziale 6 przedstawiono informacje o strukturach przepływowych mieszanin dwufazowych w rurociągach poziomych oraz zaprezentowano wybrane z literatury mapy przepływów: Bakera, Mandhanea, Taitela-Duklera oraz mapę Shell. W dalszej części omówiono pokrótce tzw. modele pomocnicze odnoszące

się do dwóch wybranych elementów separatora lotniczego. Kończącą część rozdziału zajmują opisy 4 modeli wstępnych, służących do wytypowania najkorzystniejszej wersji modelu symulacyjnego, mającego docelowo reprezentować omówiony w Rozdziale 5 układ eksperymentalny.

Rozdział 7 zawiera opis stacjonarnych i niestacjonarnych obliczeń symulacyjnych modelowego separatora lotniczego. W obu przypadkach wykonano tzw. test siatki, przedstawiono pełną konfigurację modelu symulacyjnego, opisano przebieg symulacji, a także zaprezentowano wybrane wyniki. W obu przypadkach sformułowano końcowe wnioski i spostrzeżenia.

W Rozdziale 8 przedstawiono podstawowe informacje dotyczące teorii planowania eksperymentów, ze szczególnym uwzględnieniem metod doboru punktów planu oraz metod generacji płaszczyzny odpowiedzi, a także omówiono wersję separatora lotniczego użytą w opisanych dalej obliczeniach parametrycznych.

Rozdział 9 zawiera: a) szczegóły dotyczące opracowanego przez Autora planu eksperymentu (w dwóch wariantach); b) wyniki generacji powierzchni odpowiedzi; c) porównanie konfiguracji geometrycznej separatora lotniczego, referencyjnego i zoptymalizowanego, z danymi pochodzącymi z literatury; d) analizę porównawczą Pareto; e) analizę wpływu wybranych parametrów geometrycznych na pracę separatora lotniczego; f) porównanie rozkładów udziału objętościowego oleju dla trzech wybranych konfiguracji parametrów; g) analizę pól prędkości przepływu dla trzech wybranych konfiguracji parametrów; h) analizę wpływu zmian średnicy i wysokości rury centralnej na osiągi separatora; i) badania dotyczące wpływu wartości masowych strumieni oleju i powietrza na jakość oleju oraz sprawność separacji.

Podsumowanie, podzielone na dwie sekcje ukierunkowane na kwestie naukowe oraz użytkowe, jest zwięzłe i odpowiada temu, co zostało zrealizowane i opisane w rozprawie. Wnioski są poprawne, a spostrzeżenia trafne. Ważnym elementem podsumowania są uwagi dotyczące dalszych, potencjalnych kierunków badań.

Praca zawiera 1 załącznik prezentujący równania matematyczne służące do określania struktury przepływu dla map opisanych w Rozdziale 6.

2. Ocena edytorskiej strony rozprawy doktorskiej

Edytorska strona rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt. „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej” jest dobrej jakości. Język w większości jest poprawny i fachowy, charakteryzuje się jednak częstymi niedopowiedzeniami, skrótami myślowymi i logicznymi przeskokami, utrudniającymi nieraz odbiór treści i śledzenie intencji Autora. Oczywiście wielu z niejasnych kwestii można się domysleć, jednak w pracach naukowych jasność i precyzja wypowiedzi zawsze wpływa pozytywnie na końcową jakość tekstu i powinna stanowić normę. Generalnie jednak zdania są kompletne i poprawne, a błędy literowe, interpunkcyjne czy też edytorskie są relatywnie rzadkie, co dobrze świadczy o staranności Autora.

Najsłabszym elementem strony edytorskiej jest układ treści, często dość chaotyczny i nie uporządkowany w wystarczającym stopniu. W szczególności, w rozprawie brak jest konsekwencji w posługiwaniu się nagłówkami. Przykładowo, Rozdział 3 podzielony jest czytelnie na dwie sekcje, o nazwach logicznie nawiązujących do ich treści. Z kolei Rozdział 4 nie posiada żadnych sekcji, a jedynie jedno wyróżnienie w postaci tytułu o niekreślonym statusie. Struktura tego rozdziału mogłaby mieć postać: 4.1. Koncepcje modelowania przepływów dwufazowych, 4.2. Model Fazy Dyskretnej, 4.3. Model Mieszaniny (lub Model Homogeniczny), 4.4. Wielofazowy Model Eulera, 4.5. Model Objętości Płynu, 4.6. Modelowanie turbulencji. Taki układ porządkował by treść rozdziału i jednocześnie ułatwiał Czytelnikowi odszukanie interesującego go fragmentu. Niektóre tytuły rozdziałów lub podrozdziałów są zbyt ogólne (np. tytuł Rozdziału 6) lub sformułowane niewłaściwie (np. tytuł Rozdziału 5). Problem z organizacją treści widoczny jest w całej pracy.

Rysunki i tabele wykonane są starannie, estetycznie i w spójnym stylu graficznym. W niektórych przypadkach czytelność rysunków i tabel jest ograniczona ze względu na stosowanie czcionek o zbyt małym rozmiarze. Odwołania do rysunków, tabel i formuł matematycznych są poprawne, podobnie jak ich numeracja, realizowana w jednej ciągłej sekwencji niezależnej od numeracji rozdziałów. Wszystkie rysunki i tabele posiadają odwołania w treści. W Rozdziale 9 nadmiernie często występują pustki na dołach stron, świadczące o mało optymalnym układzie akapitów, rysunków i tabel.

Literatura cytowana jest w kolejności występowania w tekście. Odwołania są czytelne i poprawne. Formatowanie spisu literatury jest poprawne.

3. Ocena merytorycznej strony rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt. „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej” ma charakter wdrożeniowy i dotyczy aktualnych i ważnych zagadnień z zakresu szeroko pojętej inżynierii mechanicznej. Separatory cyklonowe są urządzeniami stosowanymi powszechnie, wciąż jednak istnieją obszary, w których nie osiągnięto zadowalającej jakości i uniwersalności rozwiązań, czego przykładem mogą być separatory lotnicze, stanowiące główny obiekt zainteresowań Autora. Wykonany przez Autora przegląd literatury dobrze oddaje obecny stan wiedzy i stanowi kompletne i wyważone wprowadzenie do kolejnych części pracy. W praktycznej części pracy Autor korzysta z oprogramowania komercyjnego firmy ANSYS, wykazując się dużymi umiejętnościami w zakresie obsługi wybranych jego modułów.

Treść 1 rozdziału rozprawy jest dość chaotyczna i chwilami mało czytelna. W szczególności zabrakło ogólnej klasyfikacji separatorów cyklonowych oraz sprecyzowania czym na ich tle są separatory lotnicze. Czasami wydaje się, że każdy separator cyklonowy może być separatorem lotniczym, co sugeruje np. zamieszczony na stronach 33-36 przegląd literatury, a czasami, że są to unikalne, wyróżniające się w jakiś sposób konstrukcje. Przykładowo, na str. 31 Autor pisze o porównaniu separatora lotniczego z innymi urządzeniami tego typu. Niemniej jednak nie zostało dokładnie wyjaśnione, która z prezentowanych wcześniej konstrukcji (np. tych widocznych na Rys. 14) jest separatorem lotniczym, lub też, jakimi dokładnie cechami konstrukcyjnymi taki separator wyróżnia się w stosunku do innych rozwiązań. Wcześniej wydawało się, że poprzez separator lotniczy Autor będzie rozumiał konstrukcję opisaną na Rys. 13 (co wynikało również z Rys. 11, na którym element nazwany separatorem lotniczym zdaje się nie posiadać części cylindrycznej), ale zawartość Tabeli 1 wyraźnie temu przeczy (skoro separatory typu GLCC nazywane są innymi urządzeniami). Później, na str. 32, Autor pisze, że geometria separatorów lotniczych nie odbiega od standardowego cyklonu stosowanego do odpylania gazów – czyżby tym razem chodziło o konstrukcję Stairmand’a (ten typ geometrii jest również wymieniany, co najmniej dwukrotnie, w zamieszczonym na końcu rozdziału przeglądzie literatury)? Z drugiej strony Autor komentuje, że pod względem zjawisk (co można rozumieć, że nie pod względem konstrukcji) separatory lotnicze są bardzo podobne do urządzeń typu GLCC – przy czym ponownie nie wskazano podobieństw i różnic. Rys. 15 również nie wyjaśnia omawianej tu kwestii. Autor pisze, że Rys. 15A, na którym wszystkie warianty konstrukcyjne posiadają część stożkową, odnoszą się do Rys. 14A oraz 14B, na którym z kolei jedno rozwiązanie posiada część stożkową, a drugie nie. Poza tym podpis pod Rys. 15 ponownie odnosi się ogólnie do separatorów cyklonowych, a nie do separatorów lotniczych. Kwestia, czym dokładnie charakteryzuje się separator lotniczy wyjaśnia się, ale tylko częściowo, w kolejnych rozdziałach rozprawy, niemniej jednak w stanowiącym ogólne wprowadzenie Rozdziale 1 nie udało się Autorowi jasno przedstawić tego zagadnienia.

Rozdział 3 stanowi ciekawe uzupełnienie rozprawy. Autor wykazuje, że dostępne w literaturze modele analityczne nie posiadają uniwersalnego charakteru i w praktyce są mało przydatne. Ważnym elementem rozdziału jest Tab. 3, w której to zebrano najważniejsze informacje o modelach symulacyjnych opisanych w literaturze i odnoszących się do badań numerycznych separatorów cyklonowych. Istotne, w kontekście konfigurowania modeli symulacyjnych, jest zestawienie stosowanych przez innych autorów modeli turbulencji.

Autor wykazał, że w modelowaniu numerycznym separatorów cyklonowych najczęściej wykorzystuje się model k- ϵ RNG lub RSM.

W Rozdziale 4 daje się zauważyć dobre, ogólne rozeznanie Autora w kwestiach możliwych strategii modelowania układów dwufazowych. Należy pochwalić, że Autor nie przyjął od razu jednej konkretnej strategii, ale rozważył wady i zalety różnych koncepcji modelowania. Wartościowym elementem rozprawy jest opis najważniejszych, w kontekście modelowania numerycznego separatorów cyklonowych, modeli turbulencji. Opis strony matematycznej jest zwięzły i w większości wystarczający. Zbyt ubogi jest jedynie opis Wielofazowego Modelu Eulera (WME), w którym to kluczową rolę odgrywają, przynajmniej w zakresie dynamiki przepływu, domknięcia opisujące tzw. międzyfazowy współczynnik wymiany pędu. Ponieważ WME może być stosowany dla wielu wariantów układów dwufazowych – krople lub cząstki stałe w gazie, pęcherzyki lub cząstki stałe w cieczy (przy czym ważny jest jeszcze stopień zagęszczenia fazy dyspersyjnej, przestrzenny rozkład poszczególnych faz, liczba Reynoldsa i inne czynniki, zależne od rodzaju układu dwufazowego) – to należałoby rozwinąć opis matematyczny i wyjaśnić, jak dokładnie zostały zdefiniowane interakcje między obiema fazami. Obecnie, bez tych szczegółów, trudno jest ocenić, na ile próba zastosowania tego modelu była sensowna.

Rozdział 5 przedstawia etap badań eksperymentalnych wraz z zestawieniem podstawowych wyników dla 4 wybranych punktów pracy. Tytuł rozdziału nie został sformułowany poprawnie. Znacznie lepiej byłoby zatytułować ten rozdział jako „Badania eksperymentalne modelowego separatora lotniczego”.

Struktura Rozdziału 6 nie jest poprawna. W szczególności brak jest wprowadzenia informującego o ogólnych planach Autora. W tym kontekście zaskakuje zmiana tematyki i dyskusja dotycząca struktur przepływowych w przewodach poziomych. Tytuły nagłówków są zbyt lakoniczne, nie wskazując na szczegółową zawartość poszczególnych sekcji pracy. Przykładem może być sam tytuł rozdziału (Badania wstępne) – nie wiadomo jakiego rodzaju badania będą w nim omawiane i co będzie obiektem tych badań. Podobnie niejasne są nagłówki sekcji 6.1 i 6.2. Mało przejrzysta jest cała struktura rozdziału, czasami bazująca na numerowanych sekcjach, a czasami na nienumerowanych, pisanych pogrubioną czcionką, podtytułach.

Na początku sekcji 6.1 jest mowa o dwóch seriach symulacji, jednej dotyczącej przewodu poziomego i drugiej, skoncentrowanej na zaworze barostatycznym. Część ta budzi pewien niedosyt – nie sprecyzowano szczegółów modelu numerycznego, nie podano informacji o rozmiarach i jakościach siatek, nie zdefiniowano warunków brzegowych i początkowych, nie podano szczegółów modelu numerycznego, a także – co byłoby tu szczególnie cenne – nie zaprezentowano żadnych konkretnych wyników. Końcowe uwagi co do sposobu wykorzystania wyników tych symulacji są również dość ubogie. Analogiczna sytuacja występuje w odniesieniu do prób zastosowania przez Autora Modelu Mikstury (MM) oraz Wielofazowego Modelu Eulera. W obu tych przypadkach brakuje szczegółów dotyczących modelu matematycznego, konfiguracji modelu symulacyjnego oraz przykładowych wyników wraz z ich omówieniem. Wobec powyższego trudno jest się odnieść do komentarzy Autora dotyczących wykorzystania tych modeli – w szczególności nie można ocenić, czy opracowane przez Autora modele symulacyjne bazujące na MM i WME były w ogóle poprawne.

Nie jest jasny cel wspominania o badaniach wykonanych wcześniej przez firmę GE Avio oraz cel prezentacji Rys. 25, na którym geometria układu jest inna niż ta, którą Autor przyjął w rozprawie. Autor pisze, że „na potrzeby obliczeń rozszerzono domenę separatora o dwie dodatkowe”. Nie jest jasne: a) kto dokonał opisywanych tu modyfikacji – Autor rozprawy, czy np. Stefano Furino, również pracownik firmy GE Avio i autor cytowanej na str. 69 niejawniej pracy [61]?; b) czym są wspomniane „dwie dodatkowe”? Zastanawiający jest również komentarz znajdujący się na str. 79. Napisano tam, że modele wstępne, o których mowa w Rozdziale 6, opracowane zostały w firmie GE Avio, ale nie stwierdzono jasno, że to Autor rozprawy jest ich twórcą. Kwestia ta wymaga wyjaśnienia.

Przedstawiony w Rozdziale 7 opis badań symulacyjnych jest zwięzły, ale jednocześnie czytelny i wyczerpujący. Autor omówił zagadnienia związane z wpływem rozmiaru i jakości siatki na wyniki symulacji, przedstawił dokładną konfigurację modelu numerycznego, zaprezentował wybrane wyniki obliczeń numerycznych oraz porównał je z wynikami badań eksperymentalnych. W trakcie badań wykonano obliczenia stacjonarne oraz niestacjonarne, przy czym opracowane na potrzeby tych symulacji modele różniły się pewnymi szczegółami: geometrią wybranych fragmentów domeny obliczeniowej, rodzajem i rozmiarami siatki numerycznej oraz ustawieniami niektórych warunków brzegowych. W tej części zwraca uwagę długi czas wykonywania się pojedynczej symulacji, dochodzący nawet do 4 tygodni, oraz informacja o tym, że realny czas obliczeń stacjonarnych okazał się istotnie dłuższy niż czas obliczeń niestacjonarnych. Szkoda, że nie skomentowano wystarczająco tego aspektu i nie wskazano dość oczywistych przyczyn takiego stanu, mających znaczenie praktyczne dla realizacji tematyki rozprawy.

Autor napisał, że uzyskał dobrą zgodność między modelem numerycznym i eksperymentem. Stwierdzenie to nie jest zbyt dobrze uzasadnione, gdyż analizę stacjonarną przeprowadzono tylko dla drugiego, a niestacjonarną tylko dla trzeciego punktu pracy. Nie jest jasne dlaczego wybrano akurat te punkty pracy. Analiza byłaby pełniejsza, a wnioski pewniejsze, gdyby badania numeryczne wykonano w obu przypadkach dla wszystkich dostępnych danych eksperymentalnych.

Rozdział 8 opisuje przygotowania do analizy parametrycznej omówionej w rozdziale kolejnym. W pierwszej części rozdziału Autor poruszył kwestie doboru planu eksperymentu oraz doboru metody generacji powierzchni odpowiedzi. Zwraca uwagę fakt, że podano tu wiele szczegółowych informacji i wytycznych, ale nie odniesiono się do stosowanej literatury – w przypadku opisu metod generacji powierzchni odpowiedzi nie zacytowano ani jednego źródła bibliograficznego. W drugiej części rozdziału omówiono geometrię i konfigurację separatora lotniczego, inną niż te, które były wykorzystane w Rozdziale 7. Świadczy to o ciągłym poszukiwaniu przez Autora możliwie uniwersalnego i optymalnego modelu symulacyjnego. Jest to zrozumiałe, tym bardziej że każda pojedyncza próba zajmuje wiele dni lub tygodni, a czas realizacji rozprawy doktorskiej jest ograniczony.

Rozdział 9 przedstawia najważniejsze, w kontekście tytułu rozprawy doktorskiej, badania i analizy. Treść tego rozdziału jest dobrze rozplanowana i przedstawiona. Plan eksperymentu jest zdefiniowany poprawnie. W wyniku analizy wariantowej Autor wytypował 3 konfiguracje parametrów (przy czym jedną z nich jest tzw. separator referencyjny), dla których wykonał kolejne, bardziej szczegółowe analizy. Najważniejszym efektem tej części rozprawy jest zdobycie wiedzy dotyczącej wpływu wybranych parametrów geometrycznych, a także warunków operacyjnych (wartości strumieni masowych oleju i powietrza na wlocie do separatora), na pracę separatora lotniczego, w szczególności na wartości trzech wskaźników, jakimi są jakość oleju, sprawność separacji oraz spadek ciśnienia w separatorze. Wyniki i dane przedstawiono w jasny i wyczerpujący sposób (chodź na kilku rysunkach występują trudności z rozróżnieniem bardzo podobnych do siebie kolorów), odnosząc się miejscami do wyników wcześniej opisanych symulacji lub też do wyników uzyskanych przez innych autorów.

Rozdział 10 zawiera podsumowanie rozprawy, przy czym wnioski i spostrzeżenia sformułowano niezależnie dla aspektów naukowych oraz użytkowych. Stwierdzenia Autora są zwięzłe i uzasadnione.

Należy uzupełnić, że w całej pracy daje się zauważyć wzmianki o trudnościach obliczeniowych związanych z uzyskaniem stabilności obliczeń. Dobrze by było odnieść się w tej kwestii do literatury i poszukać informacji, czy, oraz ewentualnie w jakim zakresie, inni autorzy również odnotowali podobne problemy.

Uzupełnieniem do ogólnej opinii są uwagi szczegółowe, przedstawione w kolejnej części recenzji.

4. Uwagi szczegółowe

Uwagi, komentarze i pytania do wybranych fragmentów rozprawy doktorskiej Pana mgt. inż. Tomasza Szwarca pt. „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej” (bez podziału na uwagi edytorskie¹ i merytoryczne):

1. Strona 13: W zwartych opracowaniach naukowych należy zawsze konsekwentnie stosować jeden styl zapisu jednostek. W spisie oznaczeń jednostki podawane są w nawiasach kwadratowych, natomiast w treści zasadniczej bez tych nawiasów. Ponadto Autor czasami nie daje spacji między wartością a jednostką (np. str. 14 czy 33), a czasami daje (np. str. 21).
2. Strona 15: Brak objaśnienia skrótu TGB widocznego na Rys. 2.
3. Strona 15: Podpis pod Rys. 3 B jest niepoprawny.
4. Strona 16: Część napisów umieszczonych na Rys. 4 jest mało czytelna.
5. Strona 17: Część napisów umieszczonych na Rys. 5 jest mało czytelna.
6. Strona 17: W pracach naukowych, przynajmniej z zakresu nauk inżynierskich, nie powinno się stosować wyrażania myśli w formie osobowej (chodzi o wyrażenie „... gdy nie zastosujemy ...”).
7. Strona 19: Wyrażenie „punkt misji samolotu” nie jest powszechnie znane i powinno zostać objaśnione.
8. Strona 19: Nieoptymalny układ treści pogarszający czytelność pracy – Autor stosuje wyrażenia i zwroty odnoszące się do budowy separatora, podczas gdy szczegóły konstrukcyjne oraz nazwy poszczególnych elementów tego typu urządzeń wyjaśnione są dopiero na stronie 24 (a jeszcze inne szczegóły w sekcji 1.3, rozpoczynającej się na str. 30). Uwaga ta odnosi się również do Rys. 7, który zamieszczony jest przedwcześnie, przed opisem budowy obu widocznych na nim elementów.
9. Strona 22 (Q1): Stwierdzenie, że w separatorach cyklonowych występują turbulencje jest mało precyzyjne. Urządzenia, o których tu mowa charakteryzują się występowaniem różnych skal turbulencji. Turbulencje małoskalowe są związane z ruchem cząstek i drobnych wirów wewnątrz separatora, podczas gdy turbulencje wielkoskalowe obejmują duże struktury wirów, o których Autor pisze przy okazji omawiania Rys. 11. Szkoda, że Autor nie poruszył wątku skal turbulencji w swojej rozprawie.
10. Strona 26: Nieczytelny opis pod równaniem (7) wynikający ze zmiany oznaczeń w indeksach dolnych.
11. Strona 26: Pierwsze zdanie sekcji 1.2.2 brzmi wyjątkowo nieprofesjonalnie. Wir, o którym Autor pisze, to również turbulencja, tyle że wielkoskalowa. W tej części należałoby raczej napisać, że procesy separacji determinowane są dwoma głównymi czynnikami: a) konwekcją wynikającą z różnic gęstości składników mieszaniny podlegającej siłom masowym, b) interakcją filmu olejowego ze strugą powietrza, zależną od liczby Reynoldsa.
12. Strona 28: Na Rys. 13 nie daje się zauważyć różnic w odcieniach koloru żółtego.
13. Strona 31: Brak jasnego wyjaśnienia dotyczącego konstrukcji separatorów lotniczych.
14. Strona 38: Teza nr 1 jest dyskusyjna – wiadomo przecież, chociażby z umieszczonego na końcu Rozdziału 1 przeglądu literatury, że taka możliwość istnieje i że była już w przeszłości wykorzystywana przez wielu badaczy.
15. Strona 42: Autor używa pojęć cyklon i hydrocyklon (nazwy te pojawiły się już wcześniej), ale nie wyjaśnia różnic i podobieństw między tymi dwoma rodzajami separatorów.
16. Strona 52: Nazwa „Eulerian” jest niepoprawna. Rozumiem, że Autorowi chodziło tu o tzw. Wielofazowy Model Eulera.
17. Strona 53 (i dalsze): W pracy kilkakrotnie występują, pod formułami matematycznymi, zdania rozpoczynające się od słowa „Gdzie” pisanego wielką literą zamiast małą.
18. Strona 59: Niewłaściwa nazwa rozdziału – powinno być raczej „Badania eksperymentalne modelowego separatora lotniczego”.
19. Strona 63: Tytuł rozdziału 6 jest zbyt ogólny (jakiego rodzaju badania i czego?).

¹ Aby nie rozbudowywać tej części recenzji, pominięto część błędów edytorskich.

20. Strona 63. Początkowy fragment rozdziału dotyczy przepływów dwufazowych w przewodach, a nie – jak można by się spodziewać – badań omówionego wcześniej separatora lotniczego. Z tego względu fragment ten powinien posiadać indywidualny nagłówek informujący o jego tematyce.
21. Strona 66-67: Niektóre z napisów na zamieszczonych tu rysunkach są mało czytelne (za mały rozmiar czcionki).
22. Strona 69 (Q2): W sekcji 6.2 omówiono kilka wariantów modelu numerycznego, dla różnych modeli matematycznych oraz kilku różniących się nieco geometrii. Autor pisze, że „opracowany model numeryczny dobrze nadawał się do przeprowadzenia obliczeń i porównania wyników z badaniami separatora na stanowisku pomiarowym”. O którym modelu numerycznym (wariancie) jest tu mowa?
23. Strona 70: W części opisującej kolejne modele wstępne brakuje wyjaśnień, co chciano uzyskać tworząc poszczególne warianty modeli, różniące się często dość istotnymi elementami. Szkoda, że nie wykonano zbiorczego zestawienia konfiguracji poszczególnych przypadków i nie wspomniano, czy w modelu zostało włączone równanie energii. Podane wcześniej formuły (48) i (49) sugerują, że tak właśnie będzie.
24. Strona 70: W sekcji o tytule „Model wstępny 1” mowa jest o odtworzeniu geometrii separatora lotniczego. Autor nie sprecyzował, czy nawiązuje tu do opisanego przed chwilą modelu wykonanego w firmie GE Avio, czy też do przedstawionych w Rozdziale 5 badań eksperymentalnych – można domniemywać, co jest logiczne i co się później potwierdza, że docelowo chodzi o ten drugi przypadek.
25. Strona 71: Nie ma modelu turbulencji o nazwie SST. Rozumiem, że Autorowi chodziło o domyślny w programie ANSYS Fluent model turbulencji k- ω SST.
26. Strona 71: Dlaczego nie zastosowano od razu modelu k- ϵ RNG lub RSM, skoro wcześniej wykazano, że to właśnie one są najbardziej odpowiednie do modelowania przepływów płynów w separatorach cyklonowych (Tab. 3)?
27. Strona 74: Opis wyników jest niejasny. Autor pisze, że w przypadku Modelu Mieszanki były problemy z uzyskaniem zadowalającej zbieżności – rozumiem, że nie udało się uzyskać wyników, co wyjaśnia dlaczego brak jest stosowanego rysunku. Rozumiem również, że komentarz rozpoczynający się od słów „Analizując udział objętości oleju ...” dotyczy Wielofazowego Modelu Eulera, a nie Modelu Mieszanki, wymienionego w zdaniu poprzedzającym to wyrażenie?
28. Strona 74 (Q3): Zastanawia tak silna redukcja rozmiarów siatki. Autor rozpoczyna od 8 milionów komórek w wariancie 1, a później redukuje siatkę do zaledwie 241 tysięcy w wariancie 3, co stanowi około 3% rozmiaru pierwotnego. Jakie są dowody na to, że taka siatka jest odpowiednia, a wyniki miarodajne?
29. Strona 79 (Q4): Kto jest twórcą opisanych w tym rozdziale modeli wstępnych?
30. Strona 83: Opis osi poziomej na Rys. 35 jest niepoprawny – zamiast „ilość iteracji” powinno być „numer iteracji”.
31. Strona 84: Czym się kierowano przyjmując do opisywanego tu uśrednienia zakres iteracji od 20 000 do 80 000?
32. Strona 86: Dlaczego podkreśla się tu, że chodzi o separator otwarty, skoro nie analizowano innych przypadków?
33. Strona 92: Autor pisze, że „jakość każdej z siatek była powyżej 0.3”. O którym wskaźniku jakości siatki jest tu mowa?
34. Strona 98 (Q5): W jaki sposób wykazano, że przepływ separatora jest silnie uzależniony od geometrii stycznego wlotu, skoro w modelu niestacjonarnym analizowano tylko jedną geometrię tego wlotu?
35. Strona 101: Autor stwierdza, że uzyskane wyniki są zgodne z wynikami pomiaru. Dlaczego nie wykonano porównania ilościowego, podobnego do tego zaprezentowanego wcześniej w Tabeli 10?
36. Strona 106: Dlaczego tym razem wybrano pierwszy punkt pracy separatora (w Rozdziale 7 obliczenia stacjonarne wykonano dla drugiego, a niestacjonarne dla trzeciego punktu pracy)?
37. Strona 106 (Q6): Dlaczego parametry turbulencji na wlocie zostały założone (na jakiej podstawie?), a nie obliczone z odpowiednich formuł?

38. Strona 107: Uwaga, że ustawienia opierały się na założeniach analizy przedstawionej w publikacji [41] jest nieco myląca. Sugeruje, że chodzi tu o jakiś inny, nie opisane w rozprawie badania, podczas gdy praca [41] jest zbieżna z tym, co zaprezentowano w sekcji 7.2 (wszystkie rysunki są dokładnie takie same).
39. Strona 113: Brak jasnego wyjaśnienia dotyczącego separatora referencyjnego. Można się domyslać, że chodzi o konfigurację opisaną na końcu sekcji 8.2 (przy czym informacja, że będzie to tzw. separator referencyjny tam się nie pojawia).
40. Strona 117/118: Występowanie bardzo podobnych kolorów na rysunkach B zmniejsza czytelność prezentowanych danych.
41. Strona 127 (Q7): Autor rozpoczyna dyskusję o temperaturach poszczególnych punktów pracy bez skomentowania, jak modelowana jest zmiana temperatury: poprzez zmianę wartości parametrów materiałowych czy też poprzez włączenie równania energii? W rozprawie brakuje jasnego sprecyzowania, czy – i ewentualnie w których sytuacjach – równanie energii jest wykorzystywane czy też nie. Materiał przedstawiony w Rozdziale 4 sugerują, że równanie energii nie jest nigdy brane pod uwagę.

Przedstawione wyżej uwagi i komentarze nie obniżają istotnie jakości przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej. Moją intencją jest tu pomoc w dalszym rozwoju naukowym Autora i wskazanie wątków, które należałoby by w przyszłości ponownie przeanalizować, przemyśleć i dopracować. Ponieważ odpowiadanie na wszystkie uwagi i komentarze uważam za bezzasadne, proszę Autora o ustosunkowanie się jedynie do kilku z nich – tych oznaczonych symbolami od Q1 do Q7.

5. Opinia końcowa

Podsumowując przedstawioną mi do recenzji rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt.: „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej”, stwierdzam, że w mojej opinii:

- uzyskane przez Doktoranta wyniki posiadają wartość poznawczą i wnoszą oryginalne elementy do badań separatorów cyklonowych;
- tematyka badawcza dotyczy dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna;
- jakość, sposób i zakres wykonanych prac dobrze świadczą o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata, a także o jego dużych umiejętnościach praktycznych w zakresie wykorzystywania oprogramowania komercyjnego firmy ANSYS (w szczególności modułów Meshing, ICEM, Fluent oraz Design Explorer);
- Doktorant jest gotowy do prowadzenia samodzielnych badań naukowych w przyszłości.

Wobec powyższego stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Tomasza Szwarca pt.: „Analiza warunków pracy i dobór parametrów geometrycznych separatora powietrzno-olejowego dla turbiny gazowej” spełnia wymagania w sensie Art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z dn. 20.04.2023 r. poz. 742) i może stanowić podstawę do przeprowadzenia publicznej obrony.

Prof. Wojciech Sobieski

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)