



Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów

dr hab. inż. Przemysław Moczko, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów
ul. Łukasiewicza 7/9
50-371 Wrocław

Wrocław, 04.02.2025r.



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka

pt. „Badania i modelowanie procesów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych wykorzystywanych w akcjach ratunkowo-gaśniczych na potrzeby jednostek ochrony przeciwpożarowej”

Promotor:

prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec

Promotor pomocniczy:

st. bryg. dr inż. Paweł Janik

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka pt.: „*Badania i modelowanie procesów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych wykorzystywanych w akcjach ratunkowo-gaśniczych na potrzeby jednostek ochrony przeciwpożarowej*”, zrealizowana pod opieką naukową prof. dr. hab. inż. Piotra Krawca i promotora pomocniczego st. bryg. dr. inż. Pawła Janika. Recenzję wykonano na podstawie pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr. hab. inż. Bartosza Gapińskiego, prof. PP, nr pisma DIM.075.293.2024 z dnia 4.12.2024 r. i uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej nr 2/III/11/2024 z dnia 2 grudnia 2024r. Rozprawę doktorską, przekazano w dniu 5.12.2024r.

1. Formalna ocena zawartości pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka jest napisana w języku polskim, liczy 121 stron, zawiera 17 rozdziałów, w tym bibliografię (59 pozycji). W rozprawie zamieszczono informacje dotyczące autora, w zakresie danych osobowych i przebiegu kariery naukowej/zawodowej (rozdziały 1 do 3 i 16). Część merytoryczna pracy zawarta jest w rozdziałach 4 do 15 i 17.

Poszczególne rozdziały rozprawy uszeregowane zostały w zwięzły i systematyczny układ pracy.



W rozdziale pierwszym autor przedstawił dane osobowe i obszary zainteresowań naukowych. W rozdziałach od 2 do 4 opisano kompetencje zawodowe i informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

W rozdziale czwartym, zatytułowanym „Osiągnięcia naukowe wchodzące w skład dysertacji”, autor zestawiał 13 publikacji naukowych, wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, które wraz z oświadczeniami autorów zamieszczono w załączniku nr 2. W tym rozdziale zawarto także streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim.

Rozdział piąty rozprawy pt. „Wprowadzenie i uzasadnienie podjętej tematyki” zawiera informacje o obszarach zastosowań wentylatorów mobilnych i opis istotnych czynników wpływających na efektywność ich wykorzystania w eksploatacji. Przedstawiono także wyniki ankiety przeprowadzonej wśród funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej, na podstawie której autor rozprawy wskazał kierunki prac związanych z poprawą ergonomii i cech techniczno-użytkowych wentylatorów mobilnych. W dalszej części rozdziału autor w skrócie opisał zrealizowane prace i uzyskane wyniki.

W rozdziale szóstym, zatytułowanym „Określenie celu badawczego oraz zadań badawczych”, przedstawiono główny cel badawczy. Ponadto, na schemacie blokowym, pokazano plan osiągnięcia celu naukowego. Sformułowano także dwa cele dodatkowe i jeden cel wdrożeniowy. Osiągnięcie zamierzonych celów pracy wymagało określenia także zadań badawczych, co skutkowało przedstawieniem w końcowej części tego rozdziału siedmiu zadań badawczych do realizacji w ramach niniejszej rozprawy.

Rozdział siódmy rozprawy pt. „Metodologia badań i modelowania wykorzystana do wykonania zadań wpisanych w obszar planu badawczego” dotyczy szczegółowego opisu działań zmierzających do osiągnięcia celu badawczego rozprawy. Opisano przeprowadzone eksperymenty na trzech stanowiskach: A) zgodnie z PN-EN ISO 5801, B) badanie profilu prędkości w wolnym przepływie (test NIST), C) analiza przepływu w rzeczywistym obiekcie. Do każdego z eksperymentów sformułowano indywidualną metodykę. Przedstawiono uzyskane wyniki badań, które w dalszej części pracy posłużyły do opracowania metody hybrydowej, łączącej badania w małej skali i symulacje CFD, w ocenie parametrów przepływu wentylatora mobilnego.

W rozdziale ósmym, zatytułowanym „Porównanie metod badawczych i ich ograniczenia”, przeprowadzono analizę uzyskanych wyników badań na poszczególnych stanowiskach badawczych. W pierwszej części skupiono się na analizie parametrów przepływu uzyskiwanych w wyniku badań z użyciem metod A, B i C. Następnie poddano



analizie uzyskane parametry pracy układów napędowych podczas badań z użyciem testowanych metod. W ostatniej części tego rozdziału przedstawiono analizę porównawczą w zakresie emisji gazów spalinowych przez jednostki napędowe wentylatorów mobilnych podczas badań.

Rozdział dziewiąty rozprawy pt. „Hybrydowa metoda oceny parametrów przepływu w badaniach eksperymentalnych – metody A, B i C” dotyczy opisu opracowanej metody hybrydowej do oceny parametrów przepływowych wentylatorów mobilnych. Autor przedstawił schemat blokowy metody i opisał szczegóły jej zastosowania, wraz z uzyskanymi wynikami badań eksperymentalnych.

W rozdziale dziesiątym, zatytułowanym „Symulacje CFD metod badawczych pomiaru parametrów przepływu w ramach hybrydowej metody pomiaru”, przedstawiono część opracowanej metody hybrydowej, w zakresie symulacji CFD. Autor przedstawił wyniki symulacji dla trzech analizowanych metod badawczych (A, B, C). Wyniki symulacji odniesiono do wyników badań eksperymentalnych i dokonano oceny stopnia zbieżności rezultatów.

Rozdział jedenasty rozprawy pt. „Walidacja modeli numerycznych dla badań parametrów przepływu”, dotyczy weryfikacji skuteczności zaproponowanej metody hybrydowej. W tym celu przeprowadzono procedurę badawczą na wentylatorze model GX500. Wyniki badań numerycznych i eksperymentalnych zestawiono w szeregu tabel i na wykresach dla przyjętych metod pomiarowych. W końcowej części rozdziału dokonano oceny uzyskanych wyników.

W rozdziale dwunastym, zatytułowanym „Propozycje rozwoju metod badawczych – testy wentylatorów pracujących w tandemie”, przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych wentylatorów pracujących w tandemie. Dokonano oceny parametrów przepływowych dla pracy indywidualnej wentylatora i dla dziesięciu konfiguracji wentylatorów pracujących w tandemie. Zmiennymi parametrami były kąt nachylenia osi wirnika, odległość pomiędzy wentylatorami i odległość od otworu drzwiowego. Uzyskane wyniki zostały ocenione z punktu widzenia strumienia objętości i ciśnienia.

Rozdział trzynasty zawiera podsumowanie rozprawy doktorskiej. Omówiono zrealizowane prace, uzyskane wyniki i przedstawiono informacje o osiągniętych celach.

W rozdziale czternastym zamieszczono spis literatury, składający się z 59 pozycji. Większość pozycji pochodzi z lat dwutysięcznych.



Rozdział czternasty, zatytułowany „Syntetyczne ujęcie wkładu w rozwój dyscypliny naukowej – inżynieria mechaniczna”, stanowi listę osiągnięć autora rozprawy doktorskiej, będących wkładem w rozwój dyscypliny. Wymieniono cztery takie osiągnięcia wraz z ich krótkim opisem.

Rozdziały szesnasty i siedemnasty zawierają listę pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, w tym otrzymane nagrody, zrealizowane projekty i wewnętrzne prace badawcze.

2. Ocena merytoryczna pracy

Zawartość przedstawionej do oceny rozprawy, w dominującej części zawiera badania eksperymentalne i numeryczne, które wraz z badaniami teoretycznymi stanowią podstawowe filary rozwoju nauki. Badania eksperymentalne, choć pracochłonne, są źródłem nowej wiedzy i dostarczają cennych informacji, szczególnie dotyczących zjawisk fizycznych, które są niezbędne do weryfikacji i walidacji modeli czy symulacji. Dzięki temu możliwe jest opracowanie metod minimalizujących udział badań eksperymentalnych i poprzez to optymalizację różnego rodzaju badań, procesów, działań itp. W tym kontekście rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka bardzo dobrze wpisuje się w ten schemat działań.

Wentylatory mobilne są istotną grupą urządzeń wykorzystywanych w działaniach ratowniczych straży pożarnej, w zakresie technik wentylacji nadciśnieniowej, podciśnieniowej i natarcia nadciśnieniowego. Skuteczność ich działania zależy głównie od odpowiedniego doboru otworów, ustawienia i konfiguracji urządzenia oraz warunków atmosferycznych. Oczekiwania użytkowników tych urządzeń, potwierdzone przeprowadzonymi badaniami ankietowymi, dotyczą przede wszystkim poprawy ergonomii eksploatacji, w tym zmniejszenia hałasu, masy oraz zwiększenia efektywności działania. Ponadto, biorąc pod uwagę charakter zastosowania tego typu urządzeń, czyli pracy w niebezpiecznym środowisku pożarowym w celu ratowania ludzi i mienia, ważne jest, aby parametry decydujące o skuteczności ich działania były precyzyjne i zweryfikowane. Dotyczy to głównie charakterystyk strumienia objętości i ciśnienia wentylatora, a także profilu prędkości strugi.

Należy stwierdzić, że tematyka pracy podjęta przez doktoranta jest ważna i aktualna. Opracowana hybrydowa metoda oceny parametrów przepływowych wentylatorów ma umożliwiać szybsze i tańsze testowanie ich parametrów techniczno-eksploatacyjnych, a tym samym bardziej efektywne i bezpieczne planowanie i realizację działań ratowniczych.



Głównym celem jaki obrał sobie autor rozprawy było opracowanie hybrydowej metody pomiaru parametrów przepływowych wentylatorów mobilnych, łączącej eksperymenty w małej skali z symulacjami numerycznymi CFD.

W pracy wykorzystano trzy metody badawcze stosowane do oceny parametrów przepływowych:

1. Metoda A – badanie zgodne z normą PN-EN ISO 5801.
2. Metoda B – test charakterystyk profilu prędkości w wolnym przepływie, opracowany przez National Institute of Standards and Technology.
3. Metoda C – badania parametrów przepływu w rzeczywistym wielokondygnacyjnym obiekcie budowlanym.

Powyższe eksperymentalne metody badawcze zostały poddane porównaniu z wynikami analogicznych symulacji CFD. Uzyskano różne stopnie zgodności: dla metody A różnice wynosiły 1,4% (strumień objętości) i 17,1% (ciśnienie), dla metody B – 1,6–4,8% (strumień objętości), a dla metody C – 0,4–13% (strumień objętości) i 0,6–30,1% (ciśnienie). Autor uznał, że uzyskany stopień zbieżności pozwala z dobrą dokładnością ocenić wartości objętościowego natężenia przepływu i ciśnienia przy wykorzystaniu narzędzi symulacyjnych CFD. Nie podał jednak szczegółów kryterium zbieżności.

W kolejnym kroku autor podjął się walidacji zaproponowanej metody hybrydowej z wykorzystaniem wentylatora GX 500. Przeprowadził identyfikację pola prędkości przepływu z użyciem metody X, a następnie przeprowadził symulacje numeryczne z zastosowaniem modeli odpowiadających konfiguracjom w ramach metod A, B i C. W dalszej kolejności wykonał analogiczne badania eksperymentalne z wykorzystaniem tych samych metod badawczych A, B i C. Uzyskany poziom zbieżności parametrów przepływowych, otrzymanych w wyniku badań eksperymentalnych i symulacji CFD, wyniósł: metoda A: 0,85% (strumień objętości) i 22,2% (ciśnienie), metoda B: 1,1–8,9% (strumień objętości) i metoda C: 1,7–6,9% (strumień objętości) i 7,1–25,8% (ciśnienie). Autor ponownie nie podał jednak kryterium zbieżności i nie odniósł się bardziej szczegółowo do uzyskanych rozbieżności.

W ramach badań przedstawionych w rozprawie, przeanalizowano także wpływ ustawienia wentylatorów (pracujących indywidualnie i w tandemie) na efektywność przepływu. Badania te objęły testy eksperymentalne dla różnych konfiguracji współpracujących wentylatorów. Pomimo, że nie są to prace bezpośrednio związane z opracowaniem proponowanej metody



hybrydowej, należy docenić ich aplikacyjną wartość w zakresie optymalizacji współpracy wentylatorów w tandemie.

W ramach realizacji pracy zaprojektowano i zbudowano następujące stanowiska badawcze:

- Tunel aerodynamiczny zgodny z normą ANSI/AMCA 240-22.
- Kanał przepływowy zgodny z PN-EN ISO 5801.
- Stanowisko do oceny charakterystyk profilu prędkości w wolnym przepływie.
- Poligonowe stanowisko badawcze do oceny parametrów przepływu w wielokondygnacyjnym obiekcie budowlanym.

W mojej ocenie Pan mgr inż. Piotr Kaczmarzyk wykazał się właściwymi kompetencjami w zakresie planowania i prowadzenia prac eksperymentalnych, wykonania symulacji numerycznych CFD oraz w zakresie opracowania i analizy otrzymywanych wyników badań. Metody i narzędzia użyte są w większości właściwe dla przyjętego celu i zakresu pracy. Sposób przedstawienia wyników badań i ich analizy są poprawne z punktu widzenia przyjętych standardów w tym zakresie. Ponadprzeciętnie oceniam zakres przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Potwierdzają one bardzo dobre, praktyczne przygotowanie autora do prowadzenia tego typu badań w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych.

W związku z tym merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka jest pozytywna. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter mocno aplikacyjny. Pod względem rozważań teoretycznych i zastosowań praktycznych wnosi wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

W pracy występują także pewne niedociągnięcia merytoryczne i edytorskie, które wymieniono poniżej. Jednak nie wpływają one na całościową pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy.

3. Uwagi krytyczne

Niektóre kwestie zawarte w rozprawie wymagają szerszego komentarza i wyjaśnienia. Poniżej przedstawiono listę uwag i komentarzy, dotyczących kwestii edytorskich oraz merytorycznych.

Uwagi edytorskie:

1. Brak zestawienia symboli i jednostek stosowanych w rozprawie.
2. W pracy zamieszczono podsumowanie, jednak brak jest syntetycznych wniosków, które zostały wyciągnięte na poszczególnych etapach realizacji prac.



3. W wielu przypadkach występują obszerne podpisy pod rysunkami. Są one wykonane tą samą czcionką co reszta tekstu, co w pewnym stopniu utrudnia ich powiązanie z rysunkiem.
4. Niektóre rysunki (np. rys. 8, 9, 10, 13 – 16, 24, 25) są bardzo niskiej jakości. Jest to dość zaskakujące, ponieważ rysunki przedstawione w powołanych artykułach są dobrej jakości.
5. Na rys. 18 autor pokazuje kąty $10,8^\circ$, czy $12,2^\circ$, natomiast w tabeli 2 przedstawione są inne rozpatrywane kąty.
6. Nie do końca zrozumiała jest intencja autora dotycząca podawania w tytułach rozdziałów odwołania do listy publikacji, będących podstawą do przygotowania rozprawy.
7. Dodatkowe drobne uwagi:
 - s. 45, r. 7.2.3, 6 w.g.: nie „Badaniem objęto tylko **na** 4 kondygnacje...”, ale „Badaniem objęto tylko 4 kondygnacje...”.
 - s. 48, 3 w.g.: „Podczas badań w wentylatory pracowały...” – zbędny przyimek „w”
 - s. 79, 6 w.d.: „przygotowany” a nie „stworzony”.
 - s. 87, 1 a.g.: „przygotowany” a nie „stworzony”.
 - s. 88, 3 w.g.: nie na rys. 48, lecz na rys. 49
 - s. 106, rys. 68: na rys. są 2 m od otworu drzwiowego, a nie 1 m.

Uwagi merytoryczne:

1. W pracy brak jest jednolitego przeglądu literatury. Można częściowo odnaleźć ślady takiego przeglądu w niektórych rozdziałach rozprawy, jednak znacznie utrudnia lub wręcz uniemożliwia to weryfikację, czy autor przeprowadził ten bardzo istotny etap pracy. **Przegląd literatury powinien jasno wskazywać stan wiedzy, dotyczący badania wentylatorów pożarowych i braki, które autor uzupełnia poprzez swoje badania w ramach realizacji pracy doktorskiej.** Pierwsze odwołanie do pozycji literaturowej znajduje się dopiero na str. 23 rozprawy. W przeglądzie literatury powinny być także zamieszczone odwołania do artykułów, będących podstawą do przygotowania rozprawy, których współautorem jest autor rozprawy doktorskiej. W tym kontekście stwierdzenie autora, że: *„W wyniku przeprowadzonej analizy literatury i po wykonaniu badań wstępnych sprecyzowano cel badawczy niniejszej pracy.”*, jest trudne do weryfikacji, bo w pracy brak jest przeglądu literatury.
2. Na stronie 12, autor zamieścił dość lakoniczny zwrot *„Naukowcy z całego świata podkreślają, że deklarowane przez producentów parametry strumienia przepływu*



mogą być różne ze względu na brak ujednoliconej metody pomiaru.”, który nie jest niczym poparty. Brak odwołań do literatury.

3. Na stronie 12, autor stwierdził, że „*W Polsce jak dotąd nie określono wymagań w zakresie metod oraz standardów pomiarowych stosowanych w celu oceny techniczno-użytkowych parametrów wentylatorów (w tym objętościowego natężenia przepływu)*”. Trudno zgodzić się z tym stwierdzeniem, ponieważ powszechnie na świecie i w Polsce przyjęte do stosowania są normy ISO, a do pomiarów stanowiskowych wentylatorów główną normą jest PN-EN ISO 5801, w której znajdują się wytyczne, dzięki którym można uzyskać miarodajne dane porównawcze wentylatorów wytwarzanych przez różnych producentów. W kontraście do powyższego stwierdzenia, w rozdz. 8.1 (s. 57), autor stwierdza, że: „... *metoda zgodna z PN-EN ISO 5801 stanowi powszechnie uznane, międzynarodowe podejście badawcze*.”.
4. Nie jest jasne czy cel wdrożeniowy nr 4, wymieniony w rozdziale 6, dotyczy budowy własnego stanowiska? Czy podobne stanowiska są już gdzieś stosowane?
5. Jak uzasadnić zaproponowane przez autora stosowanie badań nieznormalizowanych (s.16: podpunkt 7), skoro powszechnie stosuje się te znormalizowane?
6. Zbudowane przez autora stanowisko badawcze (rys. 3, s. 19, a także rys. 8 na s. 27) (konfiguracja kanałowa, typ B) na podstawie PN-EN ISO 5801 nie spełnia wymagań tej normy, w zakresie pomiaru ciśnienia statycznego w kanale, który powinien odbywać się za prostownicą strugi. Ma to szczególnie znaczenie w przypadku wentylatorów bez kierownicy (went. (2), tab. 1), gdzie struga na wylocie z wentylatora jest zawirowana. Potwierdza to ujemna wartość ciśnienia statycznego w przekroju pomiarowym przy dużych wydajnościach, a zatem i dużych zawirowaniach strugi. Pomiary ciśnienia należy wykonywać w strudze jednorodnej, gdzie przepływ jest ustabilizowany, zwłaszcza na stanowiskach normowych. Autor sam dostrzega, że kwestie zawirowań strugi powodują lokalnie uzyskanie np. wartości ujemnych ciśnienia, co potwierdza nieprawidłowy wybór przekroju pomiarowego.
7. Opis stanowiska ANSI/AMCA 240-22 wskazuje na to, że służy ono do badania wentylatora mobilnego wykorzystywanego w akcjach pożarniczych. Stanowisko to nie służy bezpośrednio do pomiarów parametrów wentylatora, ale parametrów istotnych z punktu widzenia akcji pożarniczych, tzn. strumienia powietrza przepływającego przez budynek (nie przez wentylator), w zależności od ustawienia



tego wentylatora. Trudno zatem porównywać wyniki tych badań z wynikami badań zgodnie z normą ISO 5801. W przypadku stanowiska ANSI/AMCA 240-22 badany jest układ wentylator – model budynku i wyznaczana jest charakterystyka układu, w zależności od ustawienia urządzenia generującego strumień gazu na wlocie (wentylator mobilny). Na stronie 22 autor stwierdza jednak: *„Na podstawie wartości ciśnienia zmierzonych wewnątrz komory badawczej w opisanych warunkach wyznaczana jest charakterystyka wentylatora”*. Wyznaczenie charakterystyki wentylatora, np. zgodnie z normą ISO 5801, polega na pomiarze przepływu tylko przez wentylator, czego autor ma świadomość, omawiając wnioski z badań w punkcie 7.2.1. Nie jest także jasne dlaczego autor pracy, jako opisaną przez siebie metodę B, nie stosuje badań na stanowisku zgodnym z ANSI/AMCA 240-22 (nie widać tego w pracy), ale na opracowanym przez NIST (opis na s. 19 – 20).

8. W rozprawie brakuje szczegółów dotyczących analizy błędów. Na przykład na stronie 28 autor stwierdza dość lakonicznie: *„W analizie błędu pomiaru ciśnienia dynamicznego i statycznego za estymator wartości požądanej przyjęto średnią arytmetyczną, a za błąd estymatora przyjęto odchylenie standardowe średniej arytmetycznej.”* Podobnie na s. 32 i w podrozdziale 7.2.2, a także na str. 48.
9. Autor podjął się walidacji zaproponowanej metody hybrydowej z wykorzystaniem wentylatora GX 500, poprzez ocenę poziomu zbieżności parametrów przepływowych otrzymanych z badań eksperymentalnych i symulacji CFD. W zależności od metody różnice te dochodzą do prawie 30%. Brak jest szczegółów kryterium zbieżności i uzasadnienia dla pozytywnej oceny uzyskanych wyników.
10. Można mieć pewne wątpliwości do wniosków autora, dotyczących wyników testów na terenie wielokondygnacyjnego obiektu budowlanego (metoda C) (s. 49-50), skoro w badaniach poligonowych autor uzyskał strumień objętościowy dwa razy mniejszy niż autorzy przytoczonej pracy badawczej. Z drugiej strony badania autora, wg opisaney przez niego metody B, wskazują na analogiczne wnioski, co sugeruje, że główna przyczyna różnic to dużo większy opór przepływu przez budynek niż przez sam otwór drzwiowy bez budynku za nim. Wydaje się, że wynika to z faktu, że autor porównuje dwie różne instalacje zakładając, że charakterystyka instalacji to charakterystyka wentylatora.
11. Co to jest ułamek spadku ciśnienia (s. 54, 1 a.g.)? Wnioski w tym akapicie, że spadki ciśnienia nie zależą od ustawienia wentylatora potwierdzają wcześniejsze opinie,



- że autor nie bada charakterystyki wentylatora, ale budynku. Ponadto w pracy wyraźnie brakuje podania i wykorzystania wartości ciśnień zmierzonych na każdej kondygnacji, zamiast wartości średniej stosowanej przez autora.
12. Porównywanie przez autora wielkości strumienia objętości zmierzonego na trzech różnych stanowiskach (rozdział 8.1), czyli w trzech różnych stanach pracy/punktach pracy nie jest zasadne, ponieważ nie można ich bezpośrednio porównać ze sobą. Wskazują na to wykazane różnice (np. 134%, 232 %, czy 752%).
 13. Na s. 74, w opisie wzoru (symbole r_D i r_m) autor używa niezrozumiałych stwierdzeń typu „promień średnicy”, „promień pustej płaszczyzny...”. Podobnie na s. 110 użyto sformułowania „wirów podciśnienia”.
 14. Zastosowanie w obliczeniach modelu LES (*Large Eddy Simulation*) wymusza dokładną definicję warunków brzegowych na wlocie do domeny obliczeniowej. Można tego uniknąć, stosując inną metodę obliczeń niż LES, albo wykorzystując wcześniejsze analizy (z wykorzystaniem innych modeli) do zdefiniowania rozkładu prędkości na wlocie. Czy w związku z tym była potrzeba stosowania modelu LES, gdzie zawsze obliczenia wykonujemy w stanie nieustalonym, czy jednak można było wykorzystać inne modele? Ponadto analiza LES wymaga dokładnego zamodelowania warstwy przyściennej. Jest to szczególnie istotne w obliczeniach stanowiska wg metody A (ISO 5801), a tu wg opisu autora (s. 79) minimalna wielkość elementu to 10 mm, co może wskazywać, że nie zamodelowano warstwy przyściennej.
 15. Interpretacja wyników z rozdz. 7.2.2 oraz 10.2, uzyskanych w wyniku pomiarów i symulacji wg metody B jest nieprawidłowa. Zarówno w badaniach eksperymentalnych, jak i numerycznych autor dokonuje pomiaru prędkości w 50-ciu punktach rozmieszczonych w otworze drzwiowym. Wg analiz autora, im dalej wentylator znajduje się od tego otworu, tym większy strumień objętości generuje. Nie można odnosić pomiaru prędkości do całej powierzchni otworu drzwiowego, co czyni autor. Wentylator bez widocznej zmiany oporów nie może przemieścić o 1/3 więcej lub mniej gazu.
 16. Nie jest jasne, czy autor przeprowadził weryfikację stosowanych modeli numerycznych. W praktyce sprawdza się przeważnie błąd dyskretyzacji (określenie zmienności wyników w zależności od poziomu dyskretyzacji), co określa się mianem weryfikacji modelu.



Powyższe uwagi i wątpliwości nie wpływają na moją pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej i stanowią zbiór komentarzy oraz wskazówek do wykorzystania przez autora w dalszej działalności zawodowej.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka wpisuje się jednoznacznie w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna. Założony główny cel realizacji pracy został osiągnięty. Opracowana hybrydowa metoda umożliwia ocenę parametrów przepływowych wytwarzanych przez wentylatory mobilne, na podstawie badań w małej skali (metodą X) i symulacji CFD, z wykorzystaniem trzech testów badawczych. Dodatkowe cele praktyczne i wdrożeniowe również zostały osiągnięte.

Całość rozprawy pokazuje logiczny i prawidłowy tok postępowania, charakterystyczny do prowadzenia badań naukowych o charakterze użytkowym. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości mgr. inż. Piotra Kaczmarzyka w planowaniu i realizacji eksperymentów badawczych.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana Piotra Kaczmarzyka spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2023 r. poz.742 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Przemysław Moczko

dr hab. inż. Przemysław Moczko, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów