

Dr hab. Katarzyna Klemm prof. PŁ

Łódź, 17.08.2023

Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych

Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Politechnika Łódzka

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Krajewskiego

pt.” Using of vertical ventilation systems to improve the air quality of selected urban areas”

(„Wykorzystanie pionowych układów wentylacyjnych do poprawy warunków aerosanitarnych wybranych obszarów zurbanizowanych”)

Promotor – prof. dr hab. inż. Andrzej Flaga

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 17 maja 2023 r. o powołaniu recenzenta oraz na prośbę Pani Dziekan Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej – dr hab. Lucyny Domagały, prof. PK z dnia 01 czerwca 2023 r., sformułowaną w piśmie LO.510.5.1.2023

2. Ocena tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w prowadzonym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Tytuł opiniowanej rozprawy doktorskiej, tj. “Using of vertical ventilation systems to improve the air quality of selected urban areas” („Wykorzystanie pionowych układów wentylacyjnych do poprawy warunków aerosanitarnych wybranych obszarów zurbanizowanych”), jest prawidłowy i w pełni oddaje treść recenzowanej dysertacji.

DZIEKANAT	
Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	22.08.2023
L. dz.	LO.510.5.3.2023
podpis	<i>[signature]</i>

3. Ocena struktury pracy doktorskiej

Opiniowana praca doktorska została napisana w języku angielskim. Liczy 202 stron tekstu, w tym 188 stron w części głównej, 8 stron streszczenia w języku polskim i angielskim oraz 5 stron spisu literatury. Łączna liczba rysunków wynosi 191, tabel 7.

Merytoryczne rozdziały pracy poprzedza streszczenie i dwustronicowy spis treści.

Praca składa się z jedenastu rozdziałów oraz spisu bibliografii. Zestawiona literatura obejmuje 70 pozycji tj. artykuły naukowe, pozycje zwarte, raporty, normy oraz 6 źródeł internetowych.

Głównym celem pracy – zgodnie z informacjami zawartymi w streszczeniu - jest odpowiedź na pytanie czy możliwe jest zamodelowanie z wystarczającą dokładnością warstwy inwersyjnej atmosfery oraz aktywnego systemu wentylacyjnego mającego na celu szybką poprawę warunków aerosanitarnych.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawia główne tezy pracy:

- **Możliwe jest dynamiczne oddziaływanie na przyziemne warstwy powietrza na terenach zurbanizowanych poprzez zastosowanie systemów wentylacji pionowej współpracujących z promienistym poziomym układem kanałów wentylacyjnych, które skutecznie poprawiają warunki aerosanitarnie tych terenów**
- **Model pionowych układów wentylacyjnych wykorzystanych w badaniach modelowych w tunelu aerodynamicznym odwzorowuje to zjawisko z wystarczającą dokładnością dla praktyki inżynierskiej**

Drugi, wprowadzający rozdział pracy zawiera uzasadnienie podjęcia tematu. Autor podkreśla problemy związane z jakością powietrza w Krakowie i przedstawia genezę badań nad systemem aktywnego przewietrzania miasta prowadzonych w Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej.

Trzeci teoretyczny rozdział pracy obejmuje opis zjawiska smogu, jego rodzajów i wpływu na zdrowie człowieka.

Rozdział czwarty pracy poświęcony jest zjawisku inwersji temperatury. Opisano poszczególne stany równowagi atmosfery wpływające na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza i określono rozkład czasowy występowania inwersji temperatury. W dalszej części rozdziału skupiono się na szczegółowej analizie badań dotyczących warunków anemologicznych Krakowa. Omówiono uwarunkowania, wysokość, miąższość oraz czas występowania warstwy inwersyjnej. W konsekwencji w dalszych rozważaniach przyjęto, że podstawa warstwy inwersyjnej znajduje się na wysokości 200m, a prędkość graniczna, czyli minimalna prędkość wiatru umożliwiającą redukcję zanieczyszczeń przyjmuje wartość 2m/s.

W rozdziale piątym przedstawiono koncepcję systemu aktywnego przewietrzania. Szczegółowo opisano jego części składowe: wieże wentylacyjne i kominy, ich potencjalne usytuowanie w obrębie naturalnych kanałów wentylacyjnych Krakowa oraz współdziałanie w przypadku ciągu wież wentylacyjnych. Przedstawiono kryteria podobieństwa dla badań modelowych, skale podobieństwa i model teoretyczny. Dokonano również przeglądu dotychczasowych badań nad aktywnymi metodami przewietrzania obszarów miejskich.

W kolejnym rozdziale skupiono się na poziomym systemie wentylacji mającym na celu wygenerowanie sztucznej strugi powietrza umożliwiającej transport zanieczyszczeń poza miasto wzdłuż istniejących naturalnych kanałów wentylacyjnych. W pierwszej części rozdziału przedstawiono parametry tunelu aerodynamicznego i aparatury pomiarowej wykorzystywanych w badaniach. W dalszej części opisano pierwsze badania jakie wykonano dla wentylatorów zastępczych, mające na celu wyznaczenie pola prędkości strugi generowanej przez pojedynczą wieżę oraz badania dotyczące wentylacji poziomej uwzględniającej wpływ szorstkości podłoża. Rozdział zwieńczono przedstawieniem szczegółowych wyników badań i ich analizą.

W rozdziale siódmym opisano koncepcję pionowego komina wentylacyjnego mającego za zadanie wyrzucenie mas zanieczyszczonego powietrza ponad warstwę inwersyjną. Zaproponowano model fizyczny i teoretyczny zjawiska, a także kryteria i skale podobieństwa.

Rozdział ósmy zawiera wyniki i analizę badań eksperymentalnych dotyczących wentylacji pionowej. Autor rozpatruje liczne warianty systemu różniące się kształtem powłoki komina, sposobem zasłonięcia przestrzeni dolnych, wysokością płaszcza

komina oraz kątem wentylatorów u podstawy komina. Dodatkowo w rozdziale przedstawiono wyniki wizualizacji dymowej.

W rozdziale dziewiątym stanowiącym zasadniczą, w pełni oryginalną część badań Autora przedstawiono możliwości modelowania warstwy inwersyjnej w warunkach laboratoryjnych i określono parametry systemu aktywnej wentylacji umożliwiające przejście przez warstwę inwersyjną. Przedstawiono model teoretyczny i fizyczny zjawiska, dokonano analizy otrzymanych wyników oraz oceny ekonomicznej systemu określając jego zapotrzebowanie na energię.

W rozdziale dziesiątym przedstawiono generalne wnioski odnoszące się do całej pracy.

Rozdział jedenasty zawiera proponowane przez Autora kierunki dalszych badań.

Układ rozprawy doktorskiej wykonanej przez Pana mgr inż. Piotra Krajewskiego jest prawidłowy. Zaproponowana tematyka i kolejność poszczególnych rozdziałów jest poprawna i odpowiednia w kontekście naukowej zawartości dysertacji doktorskiej. Układ pracy jest czytelny i umożliwia zapoznanie się z kolejnymi etapami prac eksperymentalnych.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1. Ocena doboru tematu pracy

Dynamiczny rozwój miast w ostatnich kilkudziesięciu latach doprowadził do silnych przekształceń środowiska, w tym również klimatu. Wpływy antropogeniczne, przejawiające się rozwojem przemysłu oraz zwiększeniem powierzchni zabudowanej, spowodowały zmiany charakterystyki termicznej podłoża i warunków anemologicznych. Cechami charakterystycznymi klimatu współczesnych miast stały się: nadwyżka ciepła, wzrost stężenia zanieczyszczeń powietrza oraz osłabiona wymiana powietrza. Coraz więcej miast boryka się z problemem smogu i stale pogarszającymi się warunkami wentylacyjnymi. Brak lub nieskuteczne rozwiązania planistyczne spowodowały silną presję inwestycyjną w obrębie naturalnych kanałów przewietrzających. W tej sytuacji poszukiwanie rozwiązań mających na celu wzbudzenie ruchu powietrza w miastach nabiera coraz większego znaczenia i staje się jednym z priorytetowych zadań.

W tym kontekście, tematyka poruszana w rozprawie doktorskiej mgr inż. Piotra Krajewskiego jest bardzo aktualna, interesująca i ważna z praktycznego punktu widzenia.

3.2.Ocena postawionej tezy i zakresu pracy

Doktorant sformułował dwie tezy badawcze:

1. „Możliwe jest dynamiczne oddziaływanie na przyziemne warstwy powietrza na terenach zurbanizowanych poprzez zastosowanie systemów wentylacji pionowej współpracujących z promienistym poziomym układem kanałów wentylacyjnych, które skutecznie poprawiają warunki aerosanitarne tych terenów”.

2. „Model pionowych układów wentylacyjnych wykorzystanych w badaniach modelowych w tunelu aerodynamicznym odwzorowuje to zjawisko z wystarczającą dokładnością dla praktyki inżynierskiej.”

Aby udowodnić powyższe tezy Doktorant przeprowadził badania modelowe w tunelu aerodynamicznym Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej. W szczególności badania objęły:

- analizę dotychczasowych badań nad systemem aktywnego przewietrzania wykorzystującym system wież wentylacyjnych i kominów wentylacyjnych do generowania poziomych i pionowych strug powietrza,
- sformułowanie problemu badawczego dotyczącego możliwości modelowania warstwy inwersyjnej w warunkach laboratoryjnych,
- określenie modelu fizycznego i teoretycznego zjawiska oraz przyjęcie założeń i uproszczeń,
- opracowanie modelu warstwy inwersyjnej w postaci układu trzech siatek stalowych usytuowanych jedna nad drugą w odległości 7,5 cm,
- określenie oporu aerodynamicznego pojedynczej siatki za pomocą badań przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym,
- przeprowadzenie badań modelowych dla układu składającego się z komina wentylacyjnego i pierścienia wież wentylacyjnych z uwzględnieniem różnych

wysokości komina, prędkości przepływu, ilości wentylatorów oraz wysokości podstawy komina wentylacyjnego,

- przeprowadzenie wizualizacji dymowej z zastosowaniem autorskiej metody w celu lepszego zobrazowania siły i rozprzestrzeniania się strumienia.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że przy zachowaniu pewnych parametrów możliwe jest przejście przez warstwę inwersyjną. Wyraźnie zaznaczył się wpływ wysokości podstawy komina wentylacyjnego, zewnętrznego pierścienia wentylatora oraz liczby wentylatorów w podstawie komina. Wraz ze wzrostem wysokości komina zwiększała się prędkość strugi powietrza. Obniżenie podstawy komina do $\frac{1}{4}$ wysokości początkowej spowodowało w praktyce wygaszenie prędkości strumienia.

Zewnętrzny pierścień wentylatora wpływał przede wszystkim na średnicę pionowego strumienia powietrza, zwiększając jego wartość przy jednoczesnym wyrównaniu rozkładu prędkości. Wyłączenie pierścienia zewnętrznego spowodowało zwiększenie prędkości przepływu w środku pionowego strumienia powietrza. Na podstawie tych obserwacji można wysnuć wniosek, że w celu sprawnego działania systemu w momencie przebicia warstwy inwersyjnej pierścienie zewnętrzne powinny być wyłączone, zaś po jej wstępnym rozbiciu włączone, aby zwiększyć średnicę otworu przepustowego i objętość wentylowanego powietrza.

Zaobserwowano również istotny wpływ liczby wentylatorów w podstawie komina. W przypadku 8 wentylatorów następuje swobodna penetracja warstwy inwersyjnej, przy zmniejszeniu ilości wentylatorów do 4 niezbędne jest zwiększenie prędkości przepływu, natomiast zastosowanie pojedynczego wentylatora skutkuje niemożliwością przejścia przez warstwę inwersyjną.

Wizualizacja dymu wykazała, że strumień znacznie rozszerza się wraz ze wzrostem wysokości i w przypadku zalegania warstwy inwersyjnej na większych wysokościach powyższy model należy stosować z ostrożnością.

Uzyskane wyniki badań pozwalają potwierdzić tezę sformułowaną we wstępnym rozdziale pracy.

3.2. Ogólna ocena wartości naukowej pracy

Opiniowaną rozprawę oceniam pozytywnie z niżej wymienionych powodów.

- Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia
- Podjęte przez Doktoranta badania nad wykorzystaniem aktywnego systemu wentylacji do przejścia przez warstwę inwersyjną i tym samym usunięcia zanieczyszczonego powietrza ponad jej zasięg mają charakter pionierski.
- Autor opracował oryginalną koncepcję przeprowadzenia badań modelowych złożonego zjawiska jakim jest warstwa inwersyjna i jej wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń
- Zaproponował oryginalny model warstwy inwersyjnej w postaci systemu metalowych siatek
- Skonstruował stanowisko badawcze i wykorzystał różne metody pomiarowe i wizualizacyjne
- Rozprawa zawiera obszerne i starannie opracowane wyniki badań modelowych przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym
- Wyniki uzyskane w pracy są interesujące poznawczo i mają istotny wymiar praktyczny
- Autor przedstawił kierunki dalszych badań

4. Uwagi krytyczne

4.1. Uwagi ogólne

Po dokładnym zapoznaniu się z rozprawą nasuwają się następujące uwagi - pytania o charakterze krytyczno – dyskusyjnym:

- 1) W jakim stopniu zastosowane urządzenia pomiarowe wpływały na zaburzenia przepływu w pobliżu analizowanych modeli i tym samym na wyniki pomiarów?
- 2) Z uwagi na fakt, że rozpatrywany system aktywnego przewietrzania powstał w celu poprawy warunków aerosanitarnych Krakowa istotnym zagadnieniem stają się uwarunkowania lokalne. W jaki sposób ukształtowanie i zagospodarowanie terenu mogą wpływać na skuteczność systemu i w jaki sposób można te elementy uwzględnić w badaniach modelowych?

3) W pracy przyjęto, że system będzie funkcjonował głównie w przypadku najbardziej niekorzystnych okresów występowania smogu, przypadających głównie na okres zimowy. Czy w przypadku smogu letniego należałoby przyjąć odmienne założenia?

4) W jaki sposób można modelować zanieczyszczenia charakterystyczne dla obszaru Krakowa?

4.2. Uwagi szczegółowe

- kompozycja pracy jest generalnie poprawna pod względem logicznym, ale słabo zaakcentowano elementy stanowiące oryginalny wkład Autora
- pierwsza część pracy dotycząca dotychczasowych badań nad systemem dynamicznego przewietrzania jest zbyt rozbudowana w stosunku do części stanowiącej oryginalny wkład Doktoranta
- kilkakrotnie w celu zdefiniowania niektórych pojęć Autor powołuje się na wikipedię, co w przypadku opracowań naukowych nie powinno mieć miejsca
- na str.14 powtórzono znaczną część tekstu
- podpisy pod rysunkami 4.1 i 4.2 są bardzo rozbudowane i stanowią wyjaśnienie zjawisk przedstawionych na rysunkach zamiast określenie ich tytułów
- rys. 4.1. nieczytelna legenda
- często Autor cytuje znaczne fragmenty prac innych Autorów
- na stronie 80 pojawia się powołanie na Fig. 10, którego nie ma w tekście
- na rys. 8.18 część opisu jest w języku polskim
- błędna numeracja w rozdziale 8
- rysunek 9.6.30 jest błędnie opisany, zamiast $H = 22$ m jest $H = 45$ m
- błędna numeracja rysunków w rozdziale 9 (9.6.38)
- brak spisu oznaczeń, tabel i rysunków

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Pomimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych natury ogólnej i tych bardziej szczegółowych należy jednak stwierdzić, że opiniowana praca stanowi z pewnością oryginalną i samodzielną próbę rozwiązania problemu badawczego.

Autor wykazał się znajomością i umiejętnością wykorzystania dostępnej wiedzy, samodzielnego planowania i prowadzenia badań, wykorzystania nowoczesnych narzędzi badawczych. Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej opinię, uważam, że przedłożona przez mgr inż. Piotra Krajewskiego rozprawa doktorska pt. **„Using of vertical ventilation systems to improve the air quality of selected urban areas”** spełnia wymagania określone w art. 186 ust. 1 oraz w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 roku poz. 574 tekst jednolity z późn. zm.) oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.).

W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Łódź, 17 sierpnia 2023

r.



dr hab. Katarzyna Klemm, prof. uczelni