



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
Wydział Budownictwa,
Architektury i Inżynierii Środowiska



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Bydgoszcz, 21 czerwca 2023

Recenzent:

Dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBS
Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich
Katedra Konstrukcji Budowlanych i Mechaniki,
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Adresat Recenzji:

Rada Naukowa Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej
Politechnika Krakowska
Ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Aleksandra Pistola

pt. „Influence of terrain roughness on boundary layer simulation in wind tunnel”

**(Wpływ chropowatości terenu na symulację warstwy przyziemnej w tunelu
aerodynamicznym)**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty, wyrażoną w piśmie z dnia 26.04.2023 r., w którym przytoczono uchwałę Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 19 kwietnia 2023 r., powołującą

DZIEKANAT
Wydziału Inżynierii Lądowej

Wpłynęło dnia...

30.06.2023

10.50.38.5.2019

MS...

Goncalves

2. Przedmiot i opis ogólny rozprawy

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Pistola pt. „Influence of terrain roughness on boundary layer simulation in wind tunnel” (Wpływ chropowatości terenu na symulację warstwy przyziemnej w tunelu aerodynamicznym), a jej promotorem jest prof. dr hab. inż. Andrzej Flaga. Przesłana do oceny praca doktorska liczy wraz z załącznikami 224 strony.

Praca ma 11 rozdziałów, w tym spis literatury i załączników. Praca napisana została w języku angielskim, zawiera streszczenia w językach: polskim i angielskim. Układ pracy jest czytelny i sposób jej wydania poprawny.

3. Tematyka rozprawy

3.1. Przedmiot, cel i tezy rozprawy

Przedmiotem badań rozprawy jest analiza chropowatości terenu i symulacja warstwy przyziemnej w tunelu aerodynamicznym.

Głównym celem jest znalezienie najbardziej odpowiednich ustawień elementów generujących turbulencję w tunelu aerodynamicznym do odwzorowania struktury przepływu powietrza charakterystycznej dla różnych kategorii chropowatości terenu. Drugim celem pracy jest zaproponowanie klasyfikacji chropowatości terenu.

Sformułowano tezy. Pierwsza teza zakłada, że dodatkowe parametry służące do opisu chropowatości terenu mogą prowadzić do lepszej identyfikacji i klasyfikacji rzeczywistych lokalizacji do celów badań modelowych w tunelach aerodynamicznych. Druga teza mówi o możliwości oceny wpływu elementów turbulizujących, takich jak klocki, iglice i bariery, na różne charakterystyki przepływu. Autor wskazuje, że takie podejście może poskutkować bardziej precyzyjną symulacją warstwy przyziemnej w tunelach aerodynamicznych.

3.2. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów rozprawy

Rozdział pierwszy zawiera określenie celów i motywacji pracy. Rozdział drugi zawiera tezy pracy oraz określenie elementów nowatorskich w pracy.

W rozdziale trzecim przedstawiono teoretyczne podstawy dotyczące struktury wiatru, chropowatości terenu oraz symulacji struktury przepływu w warstwie przyziemnej w tunelach aerodynamicznych.

W rozdziale czwartym analizowano modele rzeczywistych lokalizacji oraz przedstawiono autorską klasyfikację chropowatości terenu, która wyróżnia łącznie 8 różnych kategorii terenu, skupioną głównie na terenach miejskich i podmiejskich.

Rozdział piąty zawiera opis eksperymentu przeprowadzonego w tunelu aerodynamicznym Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej za pomocą m.in. miniaturowych skanerów ciśnień wraz z modulem pomiarowym. Przedstawiono parametry pomiaru i przypadki badawcze wraz z analizą potencjalnych błędów pomiarowych.

Rozdział szósty poświęcono opisowi procesu opracowania wyników badań w programie MATLAB, który został wykorzystany do automatyzacji tego opracowania. Skrypt automatycznie tworzy i zapisuje wykresy dla każdej z tych charakterystyk i zapisuje wyniki w arkuszu kalkulacyjnym. W rozdziale tym dokonano również doboru przypadków badawczych, w których zasymulowana struktura przepływu najbardziej odpowiada poszczególnym kategoriom chropowatości według różnych norm. Dla kategorii, do których przyporządkowano największą liczbę przypadków badawczych i gdzie istniały podstawy do selekcji na podstawie wielu argumentów, zastosowano wielokryterialną metodę wspomagania decyzji TOPSIS.

Rozdział siódmy poświęcono analizie wpływu różnych elementów generujących turbulencję w tunelu aerodynamicznym na poszczególne charakterystyki przepływu. Analiza ta pozwoliła na znalezienie prawidłowości rządzących wpływem tych elementów na strukturę wiatru i sformułowanie wytycznych dotyczących symulacji różnych typów warstwy przyziemnej atmosfery w tunelu aerodynamicznym.

Rozdział ósmy zawiera zestawienie wykresów dotyczących wszystkich analizowanych charakterystyk przepływu dla pięciu przypadków badawczych, które zostały wybrane jako najlepiej odwzorowujące poszczególne kategorie chropowatości terenu według PN-EN 1991-1-4. Dane te opatrzono komentarzem, dokonano oceny dokładności symulacji dla każdej z kategorii i porównania z modelami teoretycznymi.

Rozdział dziewiąty poświęcono podsumowaniu i wnioskowi końcowemu z pracy. Przedstawiono w nim wnioski dotyczące wprowadzonej klasyfikacji chropowatości terenu. Zawiera on także konkluzje dotyczące symulacji struktury wiatru w tunelu aerodynamicznym. Autor formułuje wytyczne dotyczące symulacji warstwy przyziemnej w tunelach aerodynamicznych, uwzględniające zaobserwowane możliwości sterowania niektórymi z jej charakterystyk poprzez odpowiedni dobór elementów turbulizujących.

W końcowej części tego rozdziału przedstawiono planowane dalsze kierunki badań w tematyce poruszonej w niniejszej pracy.

Dwa ostatnie rozdziały zawierają bibliografię i listę załączników w postaci pełnego skryptu do programu MATLAB wykorzystanego do opracowania wyników, arkusza kalkulacyjnego z dokładnym zestawieniem wszystkich przypadków badawczych i uzyskanych dla nich wyników oraz zbioru wykresów dla każdego przypadku, który został wybrany jako reprezentatywny dla jednej z kategorii chropowatości terenu według różnych norm.

4. Merytoryczna ocena pracy i uwagi krytyczne

Tematyka podjęta w pracy ma istotne znaczenie naukowe i praktyczne. Charakterystyki opisujące przepływ wiatru zależą od m.in. z rodzaju, wysokości, geometrii i ilości przeszkód znajdujących się na terenie, które określane są ogólnym terminem chropowatości terenu.

Cele pracy dotyczą analizy chropowatości terenu, zarówno w zakresie znalezienia najbardziej odpowiednich ustawień elementów generujących turbulencję w tunelu aerodynamicznym do odwzorowania struktury przepływu powietrza charakterystycznej dla różnych kategorii chropowatości terenu. Drugim celem jest klasyfikacja chropowatości terenu. Znaczenie poruszanych przez Doktoranta zagadnień wiąże się z potrzebami badań modeli w tunelu aerodynamicznym i jak najwierniejszemu odwzorowaniu elementów mających wpływ na turbulencje odpowiadających warunkom naturalnym.

Dokładne modelowanie obiektów budowlanych w tunelu dynamicznym wynika zarówno z konieczności określania rozkładu ciśnień na nietypowych obiektach, dla których brakuje informacji w normach, jak również z potrzeby przeprowadzania analizy komfortu wiatrowego. Analiza komfortu wiatrowego wymaga pomiaru prędkości wiatru oraz danych meteorologicznych, które łącznie pozwalają na określenie mikroklimatu w otoczeniu przebywających w nim ludzi. Kolejnym wyzwaniem dla dokładnego modelowania obiektów w tunelu wiatrowym i odwzorowania warunków rzeczywistych to analiza drgań wywołanych działaniem wiatru i budowa modeli aeroelastycznych z uwzględnieniem skali podobieństwa i charakterystyki dynamicznej obiektu. W efekcie z punktu widzenia projektanta i użytkownika istotna jest odpowiedź na działanie dynamiczne wiatru na obiekt budowlany oraz komfort wibracyjny człowieka przebywającego w zasięgu oddziaływania obiektu.

Powyższe kwestie znalazły się u podstaw motywacji prowadzonych przez Doktoranta badań eksperymentalnych i teoretycznych. Uniwersalność prowadzonych przez Doktoranta badań dotyczy opracowania metody odtwarzania warunków wiatrowych w eksperymencie w taki sposób, aby właściwie określić rodzaj i rozmieszczenie elementów turbulizujących w tunelu aerodynamicznym i kategoryzacji chropowatości terenu, w sposób zrozumiały dla inżynierów, architektów, urbanistów, autorów dokumentacji projektowej, w szczególności planów zagospodarowania terenu, czy szerzej – planów urbanistycznych.

Wykonana praca teoretyczna i eksperymentalna świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta – Badacza. Jego konsekwencja w pracy eksperymentalnej, która wymagała wielu testów i kolejnych iteracji, doprowadziła do unikatowych osiągnięć dla inżynierii wiatrowej i aplikacji w tunelu wiatrowym. Należą do nich: (i) propozycja rozszerzonej klasyfikacji chropowatości terenu, która wyróżnia więcej kategorii terenu związanych z terenami miejskimi i podmiejskimi. Ta propozycja opiera się na analizie rzeczywistych lokalizacji i różnych przepisów; (ii) szczegółowa analiza wpływu różnych elementów chropowatości w tunelu aerodynamicznym na różne charakterystyki przepływu wiatru. Analiza opiera się na szeroko zakrojonych testach w tunelu aerodynamicznym z różnymi kombinacjami elementów chropowatości. Wyniki tej analizy podsumowano w formie zwiezłych wytycznych i można je zastosować do bardziej efektywnej i dokładnej symulacji warstwy brzegowej w tunelach aerodynamicznych; (iii) skrypt w MATLAB do przetwarzania wyników, który można zaimplementować do szczegółowej analizy parametrów przepływu wiatru uzyskanych w testach w tunelu aerodynamicznym. Skrypt ten można łatwo dostosować do różnych konfiguracji pomiarowych.

Doktorant przeprowadził bardzo szczegółową analizę dotychczas przeprowadzonych badań i norm. Zwrócił uwagę na wprowadzenie dodatkowej kategorii chropowatości terenu, odnosząc się m.in. do PN-EN 1991-1-4, 2011 – odpowiadająca centrom dużych miast. Na podstawie szczegółowych obliczeń chropowatości przeprowadzonych na modelach w podrozdziale 4.1 zaproponowano klasyfikację z łącznie 8 różnymi kategoriami terenu. Niższe kategorie terenu: 0, I i II wg (PN-EN 1991-1-4, 2011) pozostają praktycznie niezmiennione w stosunku do norm, natomiast kategorie terenu związane z lasem/przedmieściami dzielą się na 2 różne kategorie, kategorie związane z obszarami miejskimi są podzielone na 3 różne kategorie. Zgodnie z tym podejściem proponowaną autorską klasyfikację opartą na dwóch parametrach chropowatości przedstawiono w tab. 4.2.

Na uwagę zasługuje fakt przeprowadzenia łącznie 295 przypadków testowych w tunelu aerodynamicznym. Badane przypadki były zróżnicowane poprzez różne konfiguracje elementów generujących turbulencje. W celu uzyskania charakterystyk przepływu wiatru zastosowano 12 rurek Pitota. Na podstawie wyników przeprowadzono analizę wpływu różnych elementów turbulencyjnych na parametry przepływu wiatru. Wybrano przypadki najlepiej reprezentujące kategorie chropowatości terenu według różnych norm i dokonano szczegółowej analizy przypadków odpowiadających kategoriom terenu według (PN-EN 1991-1-4, 2011).

Zrealizowane badania posłużyły również Doktorantowi do sformułowania rekomendacji, które mogą być zastosowane w większości podobnych tuneli aerodynamicznych. Rekomendacje dotyczą m.in. wyboru skali dla analizowanych modeli, począwszy od skal geometrycznych, rodzajów i wysokości elementów wywołujących turbulencje.

Przeprowadzone badania pozwoliły Doktorantowi na opracowanie podprogramu w Matlab, który dzięki swej uniwersalności może posłużyć do kalibracji różnych tuneli aerodynamicznych.

Praca doktorska jest napisana zrozumiale, poprawnie pod względem edytorskim i językowym. Do wymagających wyjaśnienia i dyskusji należą kwestie przedstawione poniżej.

- 1) Strona 31 oraz 32, w Tab.3.3 powtórzono parametry chropowatości (Equivalent uniform sand grain roughness [m]) dla materiałów:
concrete smooth wall, concrete rough wall, concrete floor, rubble, farmland.
Ponadto w tej samej tabeli, podano różne parametry chropowatości (Equivalent uniform sand grain roughness [m]) dla tego samego materiału: cast iron.
- 2) Strona 32, błędna numeracja tabeli, powinno być „3.4”
- 3) Strona 63: Autor stwierdził: „Based on the detailed roughness calculations conducted on the models in subsection 4.1, a classification with a total of 8 different terrain categories is proposed”.

W rozdziale 4.1 Autor analizował 5 modeli: 2 w Warszawie (model 1 i 5), w Birmingham (model 2), w Rzeszowie (model 3), w Sheffield (model 4). Autor słusznie podaje w proponowanej klasyfikacji chropowatości przedziały

parametrów, a nie wartości dokładne. Wartości dokładne powinny być określone na podstawie większej liczby obszarów. Proszę o poszerzenie uzasadnienia w stosunku do tego zawartego w rozprawie, iż na podstawie zbadanych 5 modeli zasadne jest stosowanie autorskiej klasyfikacji proponowanej w tablicy 4.2.

5. Wnioski

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Aleksandra Pistola pt. „Influence of terrain roughness on boundary layer simulation in wind tunnel” (Wpływ chropowatości terenu na symulację warstwy przyziemnej w tunelu aerodynamicznym) stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza wiedzę Autora w dziedzinie inżynierii wiatrowej, w tym aerodynamiki obiektów oraz modelowania obciążenia wiatrem. Autor pracy osiągnął postawione cele i udowodnił tezy, iż dodatkowe parametry służące do opisu chropowatości terenu mogą prowadzić do lepszej identyfikacji i klasyfikacji rzeczywistych lokalizacji do celów badań modelowych w tunelach aerodynamicznych. Określił wpływ różnych elementów turbulizujących. Doktorant posiada wysokie umiejętności w prowadzeniu badań oraz analizie ich wyników. Wkład w rozwój wiedzy w zakresie odwzorowania w tunelu wiatrowym struktury przepływu powietrza charakterystycznej dla różnych kategorii chropowatości terenu oraz w zakresie zaproponowanej klasyfikacji chropowatości terenu zasługują na wyróżnienie.

6. Sentencja recenzji

Recenzowana rozprawa Pana mgr inż. Aleksandra Pistola pt. „Influence of terrain roughness on boundary layer simulation in wind tunnel” (Wpływ chropowatości terenu na symulację warstwy przyziemnej w tunelu aerodynamicznym) spełnia wymogi stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r., o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (późniejszymi zmianami) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r., a jej wyniki mają istotne znaczenie praktyczne. Wnoszę o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.

Z poważaniem,



Dr hab.inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBS