

dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ

Łódź, dn. 29.08.2019

Katedra Inżynierii Środowiska

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Politechnika Łódzka

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Pauliny Jamińskiej-Gadomskiej

pt. „Analiza oddziaływania wiatru na układ budynek-rusztowanie”

wykonanej na Wydziale Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej.

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Lipecki, prof. PŁ.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej z dnia 10.07.2019 r. oraz na prośbę Pana Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej – prof. dr hab. inż. Bogusława Szmygina, prof. PŁ, z dnia 15.07.2019 r., sformułowaną w piśmie WB-897/2019.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu

Bezpieczeństwo pracy w budownictwie, w tym podczas robót na wysokościach jest zagadnieniem kluczowym na etapie realizacji niemal każdego obiektu budowlanego. Właściwe zaprojektowanie konstrukcji tymczasowych jakimi są rusztowania budowlane determinuje ich późniejszą, bezpieczną eksploatację jak i komfort pracy przebywających na nich osób. W wielu przypadkach o bezpieczeństwie tym decyduje zarówno samo usztywnienie układu prętowego jak i jego zakotwienie do budynku. Pomimo, że rusztowania projektowane są zgodnie z procedurami opisanymi w Polskich Normach, zaś współczynniki bezpieczeństwa są stosunkowo wysokie zdarzają się przypadki awarii budowlanych, w wyniku których dochodzi do oderwania rusztowania od elewacji budynku i jego

uszkodzenia. Świadczy to niewątpliwie o niedoszacowaniu obciążeń działających na daną konstrukcję przy pewnych specyficznych warunkach oddziaływania wiatru.

Oceniana rozprawa doktorska jest próbą bardzo dokładnej analizy oddziaływania wiatru na układ rusztowanie-budynek nie uwzględnianego w standardowych procedurach obliczeniowych. Warto podkreślić, iż postawione zadanie jest niezwykle skomplikowane i jak dotychczas mało zbadane o czym świadczy niewielka liczba opublikowanych prac naukowych. Doniesienia literaturowe dotyczą głównie badań tunelowych. Brak jest natomiast prac z zakresu pomiarów i modelowania numerycznego. Zastosowanie zaawansowanych metod obliczeniowych, starannie dobranych i dogłębnie sprawdzonych modeli oraz ambitny plan zrealizowanych badań pozwala przypuszczać, że w zakresie zagadnień przeanalizowanych w niniejszej pracy uzyskane wyniki mają charakter innowacyjny.

Uważam, że tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie jest niezwykle aktualna, ważna z poznawczego i aplikacyjnego punktu widzenia, a także istotna z uwagi na rosnące wymagania związane z bezpieczeństwem i higieną pracy w budownictwie. Uzyskane przez doktorantkę wyniki badań doświadczalnych oraz zaproponowany i zwalidowany model obliczeniowy przyczynią się z pewnością do dalszego rozwoju i udoskonalenia metod wyznaczania oddziaływania wiatru na rusztowania. Tym samym tematykę podjętą w ocenianej rozprawie doktorskiej uważam za oryginalną w kontekście badań prowadzonych w wiodących ośrodkach na całym świecie, zaś jej wybór za trafny i całkowicie uzasadniony.

3. Krótka charakterystyka pracy i zakres rozprawy

Praca pt. „Analiza oddziaływania wiatru na układ budynek-rusztowanie” została przygotowana w formie maszynopisu i liczy łącznie 157 stron. Zawiera 102 rysunki i 12 tabel. Składa się z 9 rozdziałów o zbliżonej objętości, ułożonych w logicznej kolejności. Większość rozdziałów kończy podsumowanie.

Rozdział 1 to krótki wstęp do pracy, w którym omówiono zagadnienia obciążenia wiatrem układów złożonych z budynku i rusztowania. Sformułowano w nim problem naukowy i cele pracy. W rozdziale 2 dokonano szczegółowego opisu konstrukcji rusztowań i ich klasyfikacji, natomiast w rozdziale 3 omówiono wytyczne normowe przy ustalaniu obciążenia tego typu konstrukcji. Bardzo dogłębną analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie wyznaczania oddziaływania wiatru na rusztowanie zamieszczono w rozdziale 4, z tym że główny nacisk położono na opis badań modelowych w tunelach aerodynamicznych.

Jednocześnie stwierdzono, brak dogłębnych badań z wykorzystaniem symulacji CFD oraz pomiarów w skali rzeczywistej prowadzonych na istniejących obiektach. Rozdział 5 i 6 poświęcono odpowiednio na przegląd metod modelowania turbulencji oraz opisanie metody badań in-situ wraz z wynikami pomiarów na 34 budynkach. Obie metody posłużyły do uzyskania znaczącej liczby wyników opisanych i zinterpretowanych w rozdziale 7 (walidacja zaproponowanego modelu turbulencji) oraz 8 (symulacja przepływu wokół budynku z rusztowaniem). Pracę kończy rozdział 9 zawierający podsumowanie i wnioski. Określono w nim także możliwe kierunki dalszych prac co świadczy o świadomości samej Doktorantki, iż nie wyczerpała ona w pełni podjętej tematyki, zaś w przyszłości widzi możliwość prowadzenia kolejnych badań. Praca nie zawiera załączników.

Przy pisaniu dysertacji wykorzystano 118 pozycji literaturowych, głównie anglojęzycznych. Wśród cytowanych publikacji znaleźć można prace własne Doktorantki. Większość przywołanych pozycji to artykuły, które ukazały się po roku 2000, choć są też publikacje z lat 70. ubiegłego wieku. W spisie pozycji bibliograficznych znajdują się również dokumenty normowe z zakresu objętego rozprawą doktorską.

4. Ocena formalna

Przedstawiona praca ma charakter badawczo – teoretyczny z obszaru budownictwa, inżynierii wiatrowej i fizyki miasta. Celem pracy było określenie: rzeczywistego oddziaływania wiatru na konstrukcje rusztowań fasadowych bez zakrycia oraz określenie zmian w opływie wiatru wokół budynku wywołanych obecnością rusztowania. Rozważania ograniczono do rusztowań bez zakrycia, wskazując na bardziej złożony charakter procesów charakterystycznych dla tego przypadku. Rozwiązanie tak sformułowanego zadania badawczego wynikało z analizy źródeł literaturowych wskazujących na brak odpowiednich badań w tym zakresie w Polsce i na świecie. Na tej podstawie należy uznać, że wybór powyższego tematu był całkowicie uzasadniony. Szczegółowy przegląd dostępnych metod CFD (rozdział 5) pozwolił na wybór modelu turbulencji $k-\omega$ SST i metody rozwiązania najlepiej odwzorowującego rzeczywisty opływ w analizowanych zagadnieniach (rozdział 7). Sam model CFD został zwalidowany na podstawie pomiarów w skali rzeczywistej co bardzo szczegółowo opisano w rozdziale 8. Pozwoliło to na uzyskanie wiarogodnych wyników obliczeń dla szczególnego przypadku. Należy podkreślić, że samą metodę pomiaru wraz z analizą wyników należy uznać za oryginalny, autorski element rozprawy. Tym samym

stwierdzam, że założony cel pracy został zrealizowany przez Doktorantkę za pomocą poprawnie dobranych metod obliczeniowych i eksperymentalnych. Autorka nie sformułowała natomiast w swojej pracy typowej tezy badawczej, charakterystycznej dla większości prac doktorskich.

Moim zdaniem, oryginalne i najbardziej cenne z naukowego punktu widzenia są osiągnięcia polegające na:

- „ocenie interferencji aerodynamicznej oraz nieustalonych cech przepływu w odniesieniu do wolnostojącego rusztowania” oraz

- „określenia rzeczywistego oddziaływania wiatru na konstrukcję rusztowania fasadowego ustawionego przy obiekcie budowlanym”,

Praca ma klasyczny układ rozprawy doktorskiej. Część obliczeniowa pracy została poprzedzona rzetelnym i solidnym przeglądem aktualnego stanu wiedzy. Widać, że Doktorantka jest ekspertem w dziedzinie metod CFD. Nieco skromniej, lecz wystarczająco dokładnie potraktowano przegląd zagadnień dotyczących metod badania przepływu wiatru wokół budynków. Niezwykle cenne są natomiast wyniki badań uzyskane za pomocą profesjonalnego zestawu urządzeń pomiarowych. Prawie każdy rozdział kończy się krótkim podsumowaniem zawierającym sformułowanie najistotniejszych wniosków.

W mojej opinii praca nie jest może zbyt obszerna pod względem ilości opisanych i przebadanych przypadków. Przeprowadzone badania i obliczenia są natomiast niezwykle dogłębne, zaś ich wyniki przedstawione w sposób bardzo syntetyczny. Świadczy to o tym, że Doktorantka starała się dokonać jak najbardziej kompleksowej oceny wybierając jednakże i opisując jedynie najważniejsze wyniki i spostrzeżenia. Kolejność prowadzonych analiz, użyte metody, zakres badań jak i zawartość całej rozprawy nie budzą zastrzeżeń formalnych.

Praca napisana jest bardzo starannie, prawidłową polszczyzną. Autorka nie stroni od wnikliwych analizy uzyskanych wyników na każdym etapie pracy. Jest precyzyjna i rzetelna w formułowaniu własnych opinii. Na szczególną pochwałę zasługuje rozdział 5 zawierający bardzo dobry przegląd literatury przedmiotu i rozdział 7, w którym przeanalizowała symulacyjnie przepływ powietrza wokół słupków rusztowania w różnych konfiguracjach, a także część eksperymentalna pracy. Praca jest praktycznie wolna od błędów o charakterze ogólnym bądź redakcyjnym co należy uznać za ewenement.

5. Ocena merytoryczna

Z uwagi na trafnie sformułowany problem badawczy, kompleksowy zakres badań i analiz, prawidłową interpretację uzyskanych wyników oraz umiejętność formułowania wniosków moja ocena merytoryczna prezentowanej pracy jest bardzo wysoka. Jednakże dokładna analiza tekstu rozprawy nakłada na mnie obowiązek sformułowania kilku uwag o charakterze dyskusyjnym, nie umniejszających jednak pierwotnego wrażenia.

5.1. Uwagi krytyczne wymagające odpowiedzi w czasie publicznej obrony

Pierwsza uwaga dotyczy celowości stosowania różnych typów anemometrów oraz wyboru miejsc pomiarowych. Wzdłuż fasady budynku w niewielkiej odległości od krawędzi dachu, jak wynika z rysunku 8.3a równej 1 m, zastosowano anemometry typu 2D. Natomiast na dachu anemometr typu 3D. Czy oznacza to, że ponad dachem spodziewano się przepływu trójwymiarowego, zaś wzdłuż fasady dwuwymiarowego? Pytanie to jest tym bardziej zasadne, że jak pisze Autorka na str. 119 w odniesieniu do pomiarów wzdłuż fasady „Ponadto, w warunkach in-situ przepływ był zaburzony poprzez dodatkowe elementy rusztowania (poręcze, stężenia, krawężniki) i był trójwymiarowy”. Natomiast z informacji na str. 112 wynika, że w miejscu zainstalowani anemometru 3D występuje przepływ niezaburzony. Jednocześnie należy się spodziewać, że elementy dodatkowe (rys. 8.4.b) znajdujące się na dachu mogą ten przepływ w pewnym stopniu zaburzać. Dlaczego miejsce montażu anemometrów fasadowych nie pokrywa się z najwyższą krawędzią słupków? Czy na prędkość przepływu wiatru wokół rusztowania a tym samym na wyniki pomiarów mają wpływ nasłonecznienie zaś w konsekwencji nagrzewanie się fasady budynku, czy też zdaniem Autorki jest to wpływ pomijalny?

Uwaga druga związana jest z wyborem lokalizacji badanego budynku P10, jest on bowiem przypadkiem obiektu znajdującego się poza miastem. Natomiast w Polsce większość obiektów znajduje się w mniej lub bardziej zagęszczonej zabudowie. Czy zaproponowane w pracy modele obliczeniowe mogą być z powodzeniem stosowane w przypadku innych struktur zabudowy. Jakie elementy wymagałyby ewentualnej zmiany lub ponownego sprawdzenia? Czy możliwe byłoby zastosowanie takiego samego sposobu dyskretyzacji przestrzennej modelu, wielkości domeny i typu siatki? Jakie dodatkowe trudności pojawią się w przypadku analizy rusztowań na budynkach zlokalizowanych na obszarach miejskich?

5.2. Pozostałe uwagi merytoryczne

Nie wszystkie wypisane poniżej uwagi wymagają odpowiedzi ze strony Doktorantki. Część z nich można potraktować jedynie jako sugestie dla potrzeb przyszłych publikacji uzyskanych wyników oraz kierunków prowadzenia dalszych badań.

W swojej pracy autorka ogranicza się do rozważań przypadków rusztowań bez siatki, co uzasadnia większym stopniem złożoności przy modelowaniu konstrukcji prętowych. Natomiast większość przypadków awarii rusztowań polega na oderwaniu ich konstrukcji od ściany budynku w wyniku sił ssących lub nadciśnienia wytworzonego w przestrzeni pomiędzy siatką a elewacją. Czy zaproponowane modele będą przydatne również dla przypadków rusztowań wyposażonych w siatki lub plandeki oraz jak należałoby je ewentualnie zmodyfikować?

Proszę o doprecyzowanie lokalizacji badanych 34 rusztowań (tab. 6.1) ze szczególnym przypisaniem budynków do stref obciążenia wiatrem. Czy lokalizacja miała wpływ na wybór poszczególnych obiektów? Czy poszczególne lokalizacje różniły się istotnie pod względem warunków terenowych, w tym szorstkości i orografii.

Rysunek 4.3 jest trudny do zinterpretowania z uwagi na brak legendy pokazanej skali barw. W tej formie ma on jedynie charakter poglądowy. Jak należy się domyślać pokazana wielkość to prędkość wiatru. Brak legendy zauważyłem również na rys. 7.12 przedstawiający wyniki uzyskane na podstawie obliczeń własnych Doktorantki.

Stosując pewne określenia anglojęzyczne, np. flatter sugeruje się wyjaśnić czytelnikowi znaczenie pojęcia, przynajmniej w sposób opisowy.

Jak należy rozumieć pojęcie „stopień wypełnienia budynku” (str. 45)? Czy chodzi o wypełnienie otworów okiennych i drzwiowych?

Zgodnie z informacją podaną na str. 67 pomiary prowadzono jedynie przez jeden dzień dla każdego z budynków. Czy uzyskane wyniki były w jakiś sposób przeliczane ze względu na warunki wietrzne występujące w dniu prowadzenia pomiarów.

Podsumowanie zamieszczone w podrozdziale 6.3 jest dość skromne, biorąc pod uwagę możliwość analizy wyników z 34 obiektów. Tym bardziej, że uzyskanie ich wymagało wielu godzin pracy, często w niekorzystnych warunkach. W jaki sposób wyniki badań zamieszczone w rozdziale 6 korespondują z dalszą częścią pracy i czy były one, poza budynkiem P10, w jakiś sposób przydatne?

Obliczenia zamieszczone w rozdziale 7 pozwoliły na wybór najlepszego modelu obliczeniowego. Nie zgodzę się natomiast, że przeprowadzono w nim jego walidację chyba, że była to typowa walidacja numeryczna.

Na jakiej podstawie przyjęto odległości między słupkami równe 0,732 m (str. 108) skoro w rzeczywistych rusztowaniach jest ona znacznie większa, na przykład 3,07 m (str. 111)?

Na jakiej podstawie przyjęto wartość prędkości $u = 4,117$ m/s na wlotach domeny i skąd pochodziła ta wartość (str. 114)?

W jaki sposób zapewniono „zgodność siatki domeny obliczeniowej” pomiędzy częścią koła i prostokąta (str. 114)?

Za dość niefortunne należy traktować sformułowanie ze str. 118, iż „W praktyce trudno stwierdzić, dla którego czasu uśredniania symulacji należy porównywać rezultaty z badaniami. Zarówno czas t_1 jak i t_2 lub t_3 w specyficznych warunkach terenowych może być uznany za prawidłowy”.

Proszę doprecyzować myśl zawartą w stwierdzeniu „Symulacje wykonywano dla każdego kąta, aż do ustalenia wyników”.

Jaka zdaniem Autorki jest maksymalna odległość rusztowania od budynku z uwagi na długość elementów kotwiących? Czy odległości analizowane w podrozdziale 8.8 są realne?

6. Uwagi o charakterze edytorskim i ogólnym

Str., 40, jest „co raz”, powinno być „coraz”;

Rysunki od 6.8 do 6.18 są mało czytelne w wersji drukowanej pracy natomiast mogłyby zostać z powodzeniem przeskalowane. Nie podano wielkości i jednostki kolorowej skali pokazanej na każdym rysunku. Jak należy się domyślać są to prędkości wiatru wyrażone w m/s.

Z przyczyn formalnych przy opisie osi powinno podawać się jednostki (np. rys. 7.1, 7.9, etc.) nawet jeżeli są to wielkości niemianowane. Na przykład na rysunku 7.11 jednostką osi odciętych są stopnie.

Sformułowania „w oparciu o wymiary” lub „oparty o wyniki”, należałoby zastąpić sformułowaniem „na podstawie”.

Wyniki pokazane na rysunku 8.8 nie zostały precyzyjnie opisane. Przydatnym byłoby oznaczenie wykresów od a) do d) z bardziej dokładnym opisem po rysunku. Podobna uwaga dotyczy rys. 8.11 i 8.15.

Na rys. 8.9 i 8.13 cennym byłoby wyraźniejsze pokazanie miejsc występowania słupków rusztowania.

7. Wniosek końcowy

Uwagi jakie zawarłem w swojej opinii w dużym stopniu mają charakter dyskusyjny i nie podważają w istotny sposób wartości naukowej pracy, jak również nie obniżają bardzo pozytywnej oceny samej Doktorantki. Stwierdzam, że Autorka opracowania podejmując istotny problem badawczy rozwiązała go samodzielnie, poprawnymi metodami naukowymi przez co wykazała się umiejętnością wymaganą od osób ubiegających się o stopień doktora. Otrzymane wyniki wnoszą nowe elementy do wiedzy na temat modelowania oddziaływania wiatru na układ budynek-rusztowanie, zaś uzyskane wyniki pomiarów i analiz obok aspektu poznawczego posiadają również istotną wartość użyteczną.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Pauliny Jamińskiej-Gadomskiej pt.: "Analiza oddziaływania wiatru na układ budynek-rusztowanie" spełnia wymagania art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wraz z późniejszymi zmianami, dlatego wnioskuję do Rady Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie Kandydatki do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ