

prof. dr hab. inż. Zbigniew ZEMBATY,

Opole, 6 września, 2023

z.zembaty@po.opole.pl,

[url.: www.z.zembaty.po.opole.pl](http://www.z.zembaty.po.opole.pl)

Politechnika Opolska

Ul. Prószkowska 76

45-758 Opole

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Polaka:

Analiza skuteczności działania strojonych tłumików wiskotyczno-wahadłowych i cieczowych kolumnowych

1. PODSTAWA RECENZJI

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, pismem Przewodniczącego Rady z dnia 1 czerwca 2023 (pismo razem z rozprawą wpłynęło na Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej w dniu 6 czerwca 2023).

2. CHARAKTERYSTYKA PRACY I JEJ TREŚĆ

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 211 stron i obejmuje 12 rozdziałów, cztery załączniki oraz spis literatury.

Rozprawa dotyczy analizy numerycznej i eksperymentalnej efektywności działania dwóch urządzeń służących zmniejszeniu drgań konstrukcji budowlanych w postaci cieczowego i wahadłowego tłumika drgań. Modele tłumików zainstalowano na modelu stalowej ramy poddanej obciążeniu pod wpływem wiatru działającego na obudowę ramy (modelującą realny budynek obciążony wiatrem). Dodatkowo w modelach zastosowano wzбудniki drgań modelujące ew. wzbudzenia z wnętrza budowli (np. od maszyn).

Po wprowadzeniu do tematyki (rozdz. 1-2) oraz obszernym omówieniu tłumików drgań zastosowanych w budowlach na całym świecie (rozdz. 3-5) szczegółowo omówiono autorskie koncepcje strojonych tłumików wahadłowego i tzw., „v-kształtnego” tłumika cieczowego (rozdz. 6). W rozdziałach 7-8 przedstawiono numeryczne sposoby przeprowadzania obliczeń układów dynamicznych budowla – tłumik. W rozdziale 9 wprowadzono kryteria podobieństwa modelowego dla układów dynamicznych budowla – tłumik, których celem było przygotowanie modelowania problemu efektywności tłumików drgań w stosownej skali. W rozdziałach 10-11 szczegółowo omówiono stanowisko badawcze zbudowane na potrzeby niniejszej rozprawy, a w rozdziale 9 sformułowano wnioski z rozprawy. Rozprawę uzupełnia lista 137 pozycji

cytowanej literatury i cztery dodatki (A, B, C, D).
Wydziału Inżynierii Lądowej

Wpłynęło dnia

L. dz.

podpis

11.09.2023
10.510.6.1.2023
Muz

3. UWAGI OGÓLNE

Tematyka badań aktywnych i pasywnych tłumików drgań budowli ma już bogatą literaturę światową, głównie w odniesieniu do wysokich budowli poddanych obciążeniom wiatrem i wymuszeniom sejsmicznym. Badania takich urządzeń należą do trudnych obszarów nieliniowej mechaniki budowli. Tym bardziej uznać zatem można, że podjęcie tego tematu w rozprawie doktorskiej jest znaczącym wyzwaniem. Problematyka ta w Polsce nie należy do szczególnie rozwiniętej ze względu na fakt mniejszych wyzwań występujących w polskiej inżynierii lądowej. Jednak na Świecie temat ten należy do głównego nurtu inżynierii lądowej a jego zastosowania dotyczą głównie wysokich budynków oraz zastosowań w inżynierii sejsmicznej i wiatrowej. Wynika to z faktu budowania coraz lżejszych konstrukcji z coraz bardziej wytrzymałych materiałów które łatwiej wpadają w drgania. Szczególnie symptomatycznym przypadkiem jest tu znany problem kładki „Millenium Bridge” z Londynu który wygenerował duży obszar badawczy (por. np. Belykhet al. 2021¹, Soczawa-Stronczyk, Bocian M., 2020²).

4. MERYTORYCZNA OCENA WYNIKÓW BADAŃ ROZPRAWY

Doktorant podjął się zaprojektować dwa tłumiki drgań, dokonać ich wszechstronnej analizy numerycznej i zaprojektować ich modele w skali umożliwiającej ich testy na modelu budowli poddanego obciążeniu w tunelu wiatrowym. W rozdziale 6 Autor przedstawił własną koncepcję obrotowego tłumika wiskotyczno-wahadłowego i tzw. „v-kształtnego” tłumika cieczowego. Jakkolwiek nie są to całkiem nowe pomysły, to jednak ich zaprojektowanie od podstaw z uwzględnieniem możliwości testowania w postaci modeli wykonanych w skali stosownej do badań laboratoryjnych uznać można za problem wymagający specjalnego, oryginalnego podejścia.

W rozdziałach 7 i 8 Doktorant podjął się numerycznej analizy tłumików drgań ze szczególnym uwzględnieniem typów tłumików będących w zakresie Rozprawy. Różnorodne obliczenia zostały wykonane za pomocą autorskich programów napisanych w systemie Matlab. Wynik odpowiednich symulacji numerycznych są podstawą dalszych badań Rozprawy. Należy bardzo pozytywnie ocenić ten obszar twórczej i samodzielnej pracy Doktoranta.

Rozdział 9 to szczególnie ważny rozdział Rozprawy. Autor podjął się w nim trudnego problemu sformułowania nieliniowych równań ruchu analizowanych układów budowla-tłumik w postaci wskazanej przez analizę wymiarową. Tylko takie podejście umożliwia potem najbardziej optymalne zaprojektowanie eksperymentu modelowego w skali który ma być

¹ Belykh I., Bocian M., Champneys A.R., Daley K., Jeter R., Macdonald J. H.G., McRobie A., (2021), Emergence of the London Millennium Bridge instability without synchronization, *Nature communications*, vol.12(1), p.7223

² Soczawa-Stronczyk A.A., Bocian M., (2020), Gait coordination in overground walking with a virtual reality avatar, *Royal Society Open Science* vol.7 (7), 200622

zrealizowany w tunelu wiatrowym. Osobno przeprowadzona została analiza dla modelu budowli, dla dwóch typów tłumików oraz układów budowla-tłumik. Zakończeniem tego rozdziału jest wstępny dobór parametrów modeli tłumików.

Kolejnymi oryginalnymi rozdziałami Rozprawy są kluczowe rozdziały 10 i 11 w których Doktorant przedstawił projekt eksperymentu modelowego oraz szczegółowo opisał jego przebieg. Modele obu tłumików drgań są umieszczone w modelu budynku wykonanym w skali 1:250 i poddane obciążeniu wiatrem w tunelu wiatrowym w zakresie prędkości wiatru od 1m/s do 13m/s. Wykorzystany tunel wiatrowy należy do typu „boundary layer” co umożliwiło prawidłowe ukształtowanie pionowego profilu obciążenia modelu wiatrem.

5. SZCZEGÓŁOWE UWAGI KRYTYCZNE

5.1 Badania modelowe zostały wykonane przy jednej pozycji modelu budynku względem kierunku napływu wiatru (punkt 10.1, strona 129) co wydaje się znaczącym ograniczeniem zakresu badań. Kombinacja efektów aerodynamicznych i pracy tłumików dla różnych kątów napływu wiatru zawiera, zdaniem Recenzenta potencjalne, bardzo ciekawe rezultaty poznawcze które zostały w ten sposób pominięte. Doktorant mógł przynajmniej wykonać analizę numeryczną oczekiwanych efektów takich badań, lepiej w ten sposób uzasadniając pominięcie ich w eksperymencie.

5.2 W rozprawie przedstawiono obszerny przegląd literatury oraz dokładny opis różnych tłumików drgań budowli na całym świecie. Zdaniem Recenzenta byłoby zatem wskazane poświęcić choć kilka stron opisu jak wyglądałaby realizacja badanych dwóch tłumików drgań w przypadku ich wyprodukowania dla budowli w skali 1:1. Jak duży byłby tłumik względem kondygnacji piętra budynku? W jakim zakresie konstrukcja tłumika musiałaby się różnić od modelu a w jakim być do niego podobna? W którym dokładnie miejscu realnej budowli (skala 1:1) byłyby umieszczone badane tłumiki, gdyby wykonać je w skali 1:1, itp.?

5.3 Strona 36. Cytat: (...) *W praktyce zarówno pasywne tłumiki cieczowe jak i pasywne wahadłowe tłumiki masowe projektowane będą na konkretną częstość drgań własnych budowli. Takie założenie przyjęte zostało w ramach niniejszej pracy badawczej. Podejście takie będzie właściwe dla smukłych obiektów budowlanych typu mosty o długich przęsłach lub symetryczne budynki wysokościowe, gdzie odczuwalne drgania występują dla częstotliwości pierwszych pięciu postaci drgań własnych (...).*

W tym miejscu rozprawy to zdanie jest niejasne. Jeśli tłumik jest strojony na podstawową częstość drgań własnych to nawet dla prostej, smukłej budowli wieżowej, niesymetrycznej w planie, pojawia się problem redukcji drugiej częstości występującej razem z postacią drgań na prostopadłym kierunku drgań poziomych. Czy wtedy należałoby zastosować drugi tłumik? A

co z mostem, dla którego tych istotnych częstości będzie więcej, nie mówiąc o masztach z odciągami?

5.4 Rozdział 8 dotyczący implementacji numerycznej redukcji drgań w kładkach dla pieszych wydaje się być niepotrzebny w tej rozprawie. Po pierwsze brak w tym wypadku rozwinięcia eksperymentalnego. Po drugie, w świetle aktualnego poziomu badań światowych tematyka ta jest omówiona w tym rozdziale niezbyt wnikliwie w stosunku do aktualnego poziomu badań światowych (por. przypisy 1, 2 na stronie 2 niniejszej recenzji).

6. WNIOSEK I KOŃCOWA OCENA PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Michała Polaka jest przygotowana niezwykle starannie i z bardzo dużym nakładem pracy. Doktorant wykonał świetnie zaplanowane badania naukowe obejmujące wszystkie aspekty analizowanego problemu od wnikliwego przeglądu literaturowego i opisu teoretycznego, poprzez analizę wymiarową, obliczenia numeryczne aż po zaplanowanie i wykonanie dwóch testów modelowych eksperymentów w tunelu wiatrowym. Przy pewnym poszerzeniu obszaru eksperymentów, materiału badawczego można by tu wydzielić na dwie osobne rozprawy – każda o badaniu jednego typu tłumika drgań. W tym sensie uznać można tę rozprawę za przykład wzorowo przemyślanego, przygotowanego i wykonanego doktoratu o obszernym programie badań. Wymienione w poprzednim punkcie uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają bardzo wysokiej oceny recenzowanej rozprawy. Recenzent nie znalazł ani jednej usterki edycyjnej w Rozprawie co jest przypadkiem rzadko spotykanym.

Biorąc powyższe pod uwagę, oraz bardzo szeroki zakres Rozprawy, uznać można, że spełnia ona wymagania *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i może być podstawą nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych. Wnoszę o przyjęcie Rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.