

Wpłynęło
02 09 2019

.....
Data

.....
Podpis

Specjalista
ds. administracji

Joanna Wojdak

Lublin, 28 sierpnia 2019r.

Dr hab. inż. Jerzy Podgórski, prof. Pol. Lubelskiej

Politechnika Lubelska

Katedra Mechaniki Budowli, WBiA

ul. Nadbystrzycka 40, 20-620 Lublin

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Marcina Tatary
pt. "Wpływ oblodzenia na aerodynamikę cięgien
mostów podwieszonych"

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Zembatego, wyrażoną w piśmie RB00ST00/233/2019 z dnia 11 lipca 2019r, które informuje mnie o uchwale Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej z dnia 11 lipca 2019, powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Tatary. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Piotr Górski, profesor nadzwyczajny Politechniki Opolskiej. Przesłana do oceny dysertacja doktorska zawarta jest w tomie liczącym wraz załącznikami 167 stron.

2. Tematyka i charakterystyka pracy

Treść rozprawy zawarta jest w 9 rozdziałach do których dołączono bibliografię (117 pozycji + 8 norm + 9 adresów wskazujących na źródła internetowe), streszczenie w języku polskim i angielskim, spis rysunków i spis tabel.

Rozdział 1 jest wstępem zawierającym wprowadzenie do tematu rozprawy, określenie problemu naukowego oraz celu i zakresu rozprawy. Rozdział ten zawiera również krótkie streszczenia pozostałych części pracy.

Problem naukowy, którego rozwiązanie doktorant postawił sobie jako cel swoich badań został określony następująco: *"poznanie zjawisk zachodzących podczas opływu powietrza wokół oblodzonego cięgna, charakteru tego opływu, śladu aerodynamicznego oraz innych ważnych parametrów aerodynamicznych"*. Badania te pozwalają na *"sformułowanie matematycznego opisu obciążenia wiatrem oblodzonych cięgien mostów podwieszonych w celu przewidywania ich odpowiedzi na działanie wiatru"*.

Głównym celem było zatem wykonanie szeregu badań laboratoryjnych, których zakres autor przedstawił w 7 punktach:

- a. wykonanie oblodzenia modelu cięgna w komorze klimatycznej,
- b. zarejestrowanie metodą fotogrametryczną kształtu oblodzenia i na podstawie tych pomiarów wykonanie modelu oblodzonego cięgna do badań w tunelu aerodynamicznym,
- c. wykonanie wizualizacji metodą PIV opływu powietrza wokół modelu w czasie badań tunelowych prowadzonych przy różnych prędkościach przepływu i 2 intensywnościach turbulencji,
- d. pomiary prędkości powietrza w śladzie aerodynamicznym za nieruchomym modelem przy prędkościach napływu powodujących wzbudzenie wirowe co pozwoliło wyznaczyć zależność między liczbami Strouhala i Reynoldsa,
- e. pomiary 3 składowych sił aerodynamicznych i na ich podstawie wyznaczenie zależności współczynników aerodynamicznych od liczby Reynoldsa,
- f. pomiary 3 składowych sił aerodynamicznych przy różnym usytowaniu modelu i na ich podstawie wyznaczenie zależności

współczynników aerodynamicznych od kierunku napływającego powietrza,

- g. ocena możliwości powstawania drgań samowzbudnych typu galopowania przy różnych kierunkach wiatru i 2 intensywnościach turbulencji.

Badania doświadczalne wykonane zostały w tunelu aerodynamicznym Czeskiej Akademii Nauk w Telič przez międzynarodowy, 4 osobowy zespół badaczy, którego aktywnym członkiem był doktorant.

Rozdział 2 zatytułowany "Ujęcie teoretyczne wybranych zagadnień" zawiera podstawowe informacje związane z opisem analitycznym obciążenia wiatrem. Przedstawione są tu zjawiska obserwowane podczas opływu powietrza wokół przekrojów kołowych oraz przekrojów charakteryzujących się niestabilnością aerodynamiczną. W szczególności wpływem oblodzenia straciły kształt cylindryczny. Podano tu także opis modeli fizycznych opisujących przyrost i rodzaje oblodzenia cięgien.

Rozdział 3 zatytułowany "Dotychczasowy stan wiedzy dotyczący wpływu oblodzenia na aerodynamikę cięgien mostowych" zawiera przegląd publikacji opisujących wyniki badań doświadczalnych w tunelach aerodynamicznych, które dotyczyły opływu przekrojów oblodzonych. Doktorant przedstawił tu też braki w aktualnym stanie wiedzy dotyczącej tego zagadnienia a w szczególności wizualizacji przepływu, pomiarów liczby Strouhala przekrojów oblodzonych i samego modelowania kształtu oblodzenia zastosowanego w dostępnych publikacjach.

Rozdział 4 omawia budowę i charakterystykę aerodynamiczną tunelu aerodynamicznego Czeskiej Akademii Nauk w Telč, który wyposażony jest w komorę klimatyczną.

Rozdział 5 zatytułowany "Badania doświadczalne w komorze klimatycznej tunelu aerodynamicznego", przedstawia rezultaty badań oblodzenia modelu sekcyjnego osłony ciągu mostowego. Zbadane zostały różne kształty oblodzenia otrzymane eksperymentalnie i następnie przeniesione na model metodą druku 3D dzięki wykorzystaniu metod fotogrametrycznych. Omówione tu też są zastosowane metody i sposób wykonania trwałego modelu oblodzonego ciągu.

Rozdział 6 "Badania doświadczalne w komorze aerodynamicznej tunelu" opisuje wyniki badań modelu oblodzonego ciągu wykonane w tunelu aerodynamicznym i metodę PIV (*Particle Image Velocimetry*) zastosowaną do wizualizacji opływu powietrza wokół nieruchomego modelu. Badania były wykonywane przy 2 różnych intensywnościach turbulencji (1% i 17%), 3 różnych prędkościach przepływu i 4 kątów charakteryzujących usytuowanie modelu w przestrzeni badawczej tunelu. Badanie liczby Strouhala na podstawie analizy wyników PIV wykonano dla przepływów o turbulencjach 3% i 12% oraz 37 różnych kątów usytuowania modelu (od 0° do 180° co 5°) w przestrzeni tunelu.

Rozdział 7 zatytułowany jest "Wartości współczynników aerodynamicznych z uwzględnieniem efektu pochylenia ciągu mostowego w przepływie" i przedstawia wyniki obliczeń pomiarów wartości sił aerodynamicznych działających na model ciągu gładkiego i oblodzonego. Na podstawie tych wyników wyliczone zostały wartości współczynników aerodynamicznych ciągu pochylonego, które następnie porównano z wartościami otrzymanymi dla gładkiego poziomo usytuowanego cylindra.

Rozdział 8 zatytułowany "Badanie możliwości wystąpienia niestabilności aerodynamicznej typu galopowania oblodzonego ciągu" przedstawia wyniki obliczeń parametrów kryterium Gauerta-Den Hartoga,

na podstawie wyznaczonych w rozdz. 8 współczynników aerodynamicznych.

Rozdział 9 jest podsumowaniem wyników uzyskanych w czasie pomiarów w tunelu aerodynamicznym, a także zawiera wnioski wynikające z analizy wyników.

3. Merytoryczna ocena pracy

Tematyka podjęta w dysertacji jest niezwykle istotna z naukowego jak też praktycznego punktu widzenia. Ustalenie wartości obciążeń pochodzenia klimatycznego i ich interakcja z podatnymi elementami konstrukcji stanowi bardzo ważny i trudny temat, który jest przedmiotem badań eksperymentalnych i teoretycznych podejmowanych przez wiele ośrodków naukowych. W tej dziedzinie badania wpływu oblodzenia na charakterystykę aerodynamiczną cięgien mostów podwieszonych i wiszących należą do bardziej złożonych gdyż łączą dwa obszary poznania obciążeń środowiskowych. Konieczność posługiwania się w badaniach aerodynamicznych modelem oblodzonego cięgna wymaga wielu przygotowań i dużych umiejętności w posługiwaniu się techniką laboratoryjną konieczną do wytworzenia stałego modelu oblodzonego cięgna, który przetrwa wielodniowe badania w tunelu aerodynamicznym.

Z tego punktu widzenia pracę mgra Marcina Tatary należą wysoko ocenić jako ważną i bardzo dobrze przygotowaną. Doktorant, jako aktywny członek zespołu badawczego, wykazał się szeregiem umiejętności, które były konieczne do przygotowania numerycznego modelu oblodzenia i następnie jego przeniesienia na fizyczny model badany w tunelu.

Badania opływu modelu cięgna wykonane zostały bardzo starannie a analiza danych eksperymentalnych i technika PIV użyta do rejestracji

wektorowego pola prędkości powietrza przed modelem i w ścieżce wirowej za modelem nie budzi zastrzeżeń. Wielki zbiór danych zarejestrowanych w czasie eksperymentów został poddany analizom (FFT, statystyka) niezbędnym do otrzymania charakterystyk aerodynamicznych oblodzonego cięgna (liczba Strouhala, współczynniki sił aerodynamicznych). Dane oraz wyniki analiz zostały przedstawione na czytelnych diagramach, które mogą być bardzo pomocne w pracach studialnych i projektowych konstrukcji zawierających cięgna.

Praca przygotowana jest dobrze zarówno pod względem edytorskim jak też pod względem językowym. Układ pracy jest czytelny i logiczny, dołączone indeksy (spis treści i spis rysunków) pomagają w czytaniu pracy, brakuje tu być może spisu zastosowanych oznaczeń.

Zauważone w czasie czytania błędy zostały zestawione w załączniku ale w tym miejscu chciałbym wskazać na moim zdaniem błędy najistotniejsze.

Podane na str. 15 równanie pozwalające wyznaczyć kąt ϕ , między osią cięgna i globalną osią X, zacytowane z pracy Demartino i Riccardellego [18], jest prawdziwe gdy wektor średniej prędkości wiatru U jest równoległy do osi X (jak to jest przedstawione w pracy 18), a na rys. 2.3 w dysertacji tej równoległości nie ma. Należy poprawić rysunek lub wyprowadzić ogólniejsze równanie. W tym samym rozdziale pracy widoczne są też oznaczenia funkcji trygonometrycznych ("tg" i "arctg") stosowane w piśmiennictwie angielskojęzycznym lub w programach obliczeniowych jako "tan" i "arctan".

Równanie podane na stronie 16 pracy opisujące zależność między gęstością powietrza a jego temperaturą i ciśnieniem zawiera niepotrzebne przeliczniki (mnożenie przez 100 wymusza podstawienie ciśnienia w hPa), które powodują uzyskanie błędnych wyników np. nieskończona wartość

gęstości powietrza przy podstawieni temperatury w stopniach Celsjusza (co sugeruje autor) zamiast w Kelwinach.

Wielokrotnie w pracy występują równania, które dają prawidłowe wyniki tylko przy podstawieniu odpowiednich jednostek, co jest stosowane dla wygody inżyniera w normach technicznych, ale nie powinno mieć miejsca w pracy o charakterze naukowym. Wielokrotnie też autor opuszcza wyjaśnienia jakich jednostek należy użyć aby wynik był prawidłowy.

Zacytowany z pracy Roacha [83] wzór na wypełnienie (które autor nazywa porowatością) rusztu turbulizującego jest zapisany błędnie:

$$\beta = (1 - b_k)^2 / M_k \quad \text{zamiast} \quad \beta = (1 - b_k / M_k)^2$$

i w tej postaci nie pozwala wyliczyć prawidłowo stosunku powierzchni przepuszczającej powietrze do całkowitej powierzchni rusztu. Dodatkowo wzór Roacha zapisany jest dla rusztu składającego się z identycznych prętów, a w czasie badań były używane ruszty zbudowane z prętów o różnych wymiarach, więc wzór na "porowatość" takiego rusztu powinien mieć zupełnie inny zapis, np.

$$\beta = \left(1 - \frac{b_1}{M_1}\right) \left(1 - \frac{b_2}{M_2}\right),$$

gdzie indeksy 1 i 2 odnoszą się do analogicznych wymiarów rusztu w 2 prostopadłych kierunkach

Na stronach 58, 59, 61 autor używa określenia model MES, co sugeruje czytelnikowi zastosowanie w pracy analizy numerycznej z użyciem metody elementów skończonych, podczas gdy w dysertacji takich analiz nie ma.

Na wykresach 6.22b i 6.27b obrazujących analizy danych pomiarowych - zależność liczby Strouhala od liczby Reynoldsa niepotrzebnie aproksymowana jest wielomianem (prawdopodobnie stopnia 4), podczas gdy autor na stronie 89 formułuje wniosek, że w tym zakresie liczb Reynoldsa wartość liczby Strouhala jest stała, więc na wykresach dane powinny być aproksymowane prostą poziomą.

Pozostałe błędy zauważone w tekście są mniej istotne, może tylko warto zwrócić uwagę na różne style cytowania prac w bibliografii. raz z podaniem nazwiska autora i numeru pozycji, innym tylko przez podanie numeru, co moim zdaniem nie jest prawidłowe.

Na te usterki pracy warto zwrócić uwagę przy jej publikacji, nie umniejszają one jednak pozytywnej oceny dysertacji pod względem merytorycznym, a pod względem edycyjnym jak już zaznaczyłem przygotowana została dosyć starannie.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra inżyniera Marcina Tatary pt. " Wpływ oblodzenia na aerodynamikę ciągien mostów podwieszonych" jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego i potwierdza jego wiedzę w dziedzinie aerodynamiki budowli i modelowania obciążeń środowiskowych oddziałujących na konstrukcje. Autor wykazał w pracy swoje znaczne umiejętności w prowadzeniu badań laboratoryjnych i analizy wyników tych badań. Doktorant przedstawił rozwiązanie postawionych problemów naukowych. Dysertacja spełnia tym

samym wymóg art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Należy też wysoko ocenić przydatność praktyczną wyników badań laboratoryjnych oraz ich interpretacji przedstawionych w pracy.

Stawiam wniosek do przyjęcie dysertacji doktorskiej mgr inż. Marcina Tatary i dopuszczenie kandydata do jej publicznej obrony oraz do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport (dawniej - Budownictwo).

A handwritten signature in black ink, appearing to read "P. Połgowski". The signature is written in a cursive style with a large, looped initial "P".

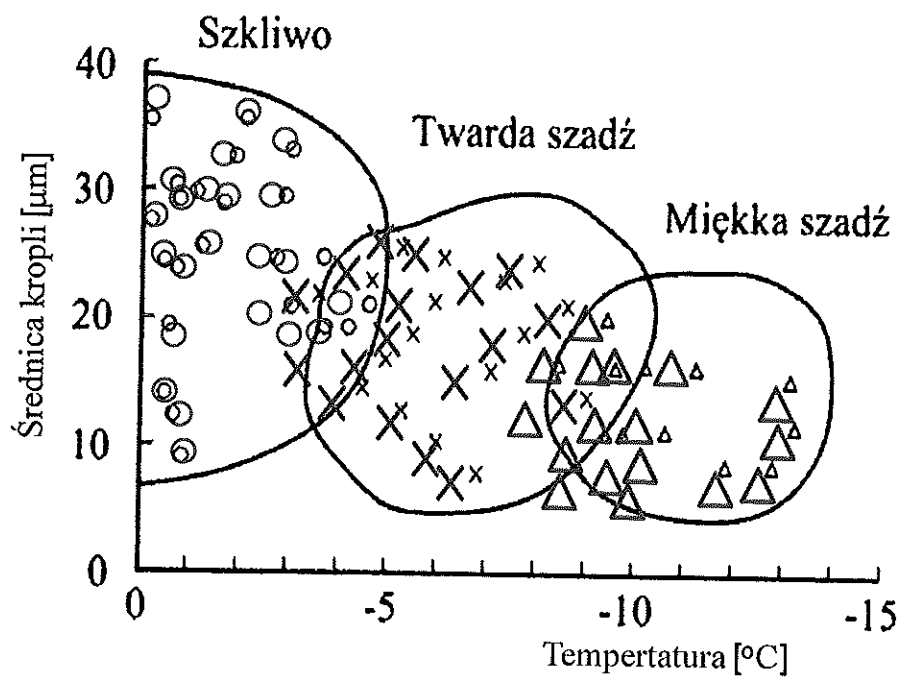
Załącznik do recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Tatary

Zauważone pomyłki edytorskie

Strona	Wiersz*	Jest	Sugerowana zmiana lub wyjaśnienie
3	8g	<i>układ trójkątny geometrycznie niezmienny</i>	nie jest jasne co autor rozumie przez <i>układ trójkątny</i> , a w przypadku ciągła sformułowanie o jego geometrycznej niezmienności budzi spore wątpliwości
3	10g	<i>wysokość pomostu</i>	tu chyba chodzi o usytuowanie pomostu ponad powierzchnią wody
5	4g	<i>i ich aerodynamikę</i>	nie jest jasne co autor przez to rozumie
8	14d	<i>na różne rodzaje oblodzenia</i>	<i>na jego rodzaje</i>
8	11d	<i>podstaw fizyki szybkości</i>	<i>fizycznych podstaw szacowania szybkości</i>
10	3g	<i>inżynierskich, w tym również</i>	<i>, a w szczególności</i>
10	16d,17d	i,j,k	i, j, k - to są wektory więc czcionka "bold"
10	15d	<i>turbulencji</i>	<i>fluktuacji</i>
11	9d	Davenport w pracy [11]	Davenport [11]
15	Rys. 2.3	Wektor średniej prędkości U nie jest równoległy do osi X globalnego układu współrzędnych	Należy narysować tak aby było równoległe do X
15 i dalsze	1a 6a	tan, arctan	tg, arctg
16	równ. 2.24	<i>P</i>	<i>p</i> , wyjaśnić o jaką stałą gazową chodzi i uporządkować jednostki, czy mnożnik 100 jest potrzebny? Ciśnienie powinno być podane w Pascalach a w przypadki hPa należy podzielić przez 100 a nie mnożyć!
16	10d	[°C]	[K] – temperatura musi być podana w Kelwinach, bo przy sugerowanych jednostkach $T=0^{\circ}\text{C}$ daje gęstość nieskończoną!
17	równania	<i>F/0,5....</i>	<i>2F</i> , należy uporządkować równania
18	11a	<i>liczbę Strouhala konstrukcji można wyznaczyć prędkość krytyczną wiatru przy której</i>	<i>liczbę Strouhala można wyznaczyć prędkość krytyczną wiatru przy której występują największe wartości drgań</i>

		występują największe wartości jej drgań	konstrukcji
23	3d	Pomijając wartość statyczną... równanie przyjmuje	Po pominięciu wartości statycznej... równanie przyjmuje
24	5g	Pochodną	Mnożnik pochodnej
25	17g	według poniższej zależności	następującą zależnością
26	Rys. 2.8a	[dk]	[μm] - brak poprawnego opisu osi pionowej, należy poprawić wykres, różnice pokazuje rysunek poniżej**
28	2g	Podstawy fizyki szybkości	Podstawy fizyczne wyznaczania szybkości
28	cała strona	współczynnik η_1 występujący w równaniu 2.56 nazywany jest tu efektywnością a później "trajektorią"???	lepiej nazwać ten współczynnik "współczynnikiem efektywności"
29	równ. 2.63	1 - w liczniku	1m/s
30	równ. 2.67	r - w liczniku	r_0
33	9g	kształt geometrii	kształt
58	7a	model MES powierzchni	model powierzchni
58	17a	modelu numerycznego MES	modelu numerycznego
59	Rys 5.8	Model MES powierzchni	Model powierzchni
60	10a	Kąt napływu powietrza na model β	Kąt β napływu powietrza na model
61	3d	modelu MES powierzchni	modelu powierzchni
67	równ. 6.2	$(1-b_k)^2/M_k$	$(1-b_k/M_k)^2$
69	1a, 2a	P	p
88,93	rys. 6.22b	błędna aproksymacja danych krzywą zamiast prostej	na str. 89 stwierdzono, że wartości te nie są zależne od Re , więc powinna być prosta pozioma
129	Tab. 72	$Re_{eff} \cdot 10^4$	$Re_{eff} / 10^4$

*) górny indeks g oznacza nr wiersza liczony od góry, dolny indeks d - numer wiersza liczony od dołu



**) Różnice położenia punktów na wykresie zamieszczonym w raporcie Kuroiwy (kolor czerwony) i na rys. 2.8a dysertacji