

prof. dr hab. inż. Aleksander Kozłowski
Politechnika Rzeszowska
Katedra Konstrukcji Budowlanych

Rzeszów, 3.09.2021

Przyjęto do oceny
10/08/2021

DZIEKAM
Wydziału Inżynierii Lądowej

[Signature]
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

WPŁYNĘŁO
06.09.2021
464 2021

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Grzeszykowskiego pt. "Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na ciągłość słupów ściskanych osiowo".

1. Wprowadzenie

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej, dr hab. Inż. Konrada Lewczuka, prof. Uczelni, pismo z dnia 15 czerwca 2021 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż., Bartosza Grzeszykowskiego, pod tytułem wymienionym w nagłówku, wykonana pod opieką naukową Promotora prof. dr hab. inż. Elżbiety Szmigiery i promotora pomocniczego dr inż. Aleksandra Szweda.

Rozprawa obejmuje 215 stron numerowanych tekstu podstawowego, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis podstawowych oznaczeń, 10 stron wykazu publikacji (179 pozycji naukowych, 19 norm, 16 raportów i wytycznych), łącznie 243 strony, wszystko oprawione razem i wydane w formie książkowej w jednym tomie. Tekst podstawowy zawiera: spis treści, wstęp, pięć rozdziałów tematycznych oraz podsumowanie i wnioski końcowe oraz zalecenia praktyczne.

Nowoczesne metody obliczeniowe konstrukcji budowlanych bazują obecnie na wykorzystaniu tzw. zaawansowanej analizy konstrukcji, gdzie uwzględnia się m.in. wpływ imperfekcji, efekty drugiego i trzeciego rzędu, charakterystyki podatnościowe połączeń i węzłów itp. Metody te są aktualnie uzupełniane i poszerzane o procedury projektowania konstrukcji na odporność (robustness). Wynika to ze zwiększającej się

liczby ponadnormatywnych oddziaływań, m.in. atmosferycznych, jak też zagrożeń terrorystycznych.

Zagadnienia obliczania na odporność elementów oraz połączeń i węzłów konstrukcji stalowych, ale także zespolonych, drewnianych i żelbetowych leżą w polu zainteresowań wielu ośrodków naukowych na całym świecie. Wykonano badania doświadczalne wyizolowanych połączeń, węzłów, podzespołów i całych konstrukcji, opracowano metody analitycznego modelowania zachowania się elementów i węzłów oraz metody analizy konstrukcji na odporność. Również współczesne normy projektowania konstrukcji, np. Eurokody, wprowadzają metody analizy uwzględniające odporność konstrukcji na oddziaływania ponadnormatywne.

Rozprawa stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego, a mianowicie badania ciągliwości (ductility) słupów stalowych, zespolonych i żelbetowych. Wyniki pracy w postaci, opartych na badaniach doświadczalnych oraz zaawansowanej analizie MES, propozycji oszacowania osiągalnej ciągliwości, mogą być wykorzystane praktycznie. W tym kontekście oceniana praca dobrze wpisuje się w nurt aktualnej i ważnej także z praktycznego punktu widzenia, problematyki naukowej.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Praca rozpoczyna się Streszczeniem w języku polskim i angielskim, następnie przedstawiono wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń.

W Rozdz. 1, „Wstęp” (5 stron) przedstawiono wprowadzenie w tematykę odporności konstrukcji budowlanych, skrótowo przedstawiono zawartość poszczególnych rozdziałów oraz wyartykułowano cele pracy.

Rozdz. 2, „Stan wiedzy” (49 stron); zawiera bardzo wnikliwą analizę publikacji naukowych nt. ciągliwości elementów konstrukcyjnych, szczególnie słupów zespolonych, metod uwzględniania w projektowaniu oddziaływań wyjątkowych, w tym postanowień normowych i modeli analitycznych miar ciągliwości.

Rozdz. 3, „Ocena stateczności i ciągliwości słupów na podstawie ich ścieżek równowagi” (16 stron), poświęcony jest analizom stateczności słupów nominalnie osiowo ściskanych na podstawie ich ścieżek równowagi. Analizowano cztery ścieżki: średnią, charakterystyczną i obliczeniową w odniesieniu do sytuacji trwałej i wyjątkowej. Zaproponowano także autorską, energetyczną miarę ciągliwości słupów.

W Rozdz. 4, „Idea obliczania wymaganej ciągliwości konstrukcji” (31 stron), opisano analizy dynamiczne konstrukcji pod obciążeniem sejsmicznym i wyjątkowym. Posłużono się uproszczonym, trójparametrowym modelem lepko sprężysto idealnie plastycznym. Wynikiem tych analiz jest propozycja oszacowania wymaganej ściągliwości konstrukcji w wybranych przypadkach obciążeń wyjątkowych, oraz propozycja wykorzystania w praktyce uproszczonego, bi-liniowego modelu ścieżki równowagi.

Rozdz. 5, „Badania eksperymentalne własne” (51 stron); zawiera opis własnych badań doświadczalnych słupów ściskanych osiowo: stalowych z rur RHS, zespolonych z rur RHC wypełnionych betonem oraz słupów żelbetowych. W badaniach słupów zespolonych wykorzystano nowoczesne narzędzia pomiarowe, tj. cyfrową korelację obrazu. W wyniku uzyskano ścieżki równowagi badanych słupów, co umożliwiło porównanie ich ciągliwości.

Rozdz. 6, „Modele zachowania pokrytycznego słupów stalowych i zespolonych” (58 stron); zawiera wyniki analiz metodą elementów skończonych. W analizach zwrócono szczególną uwagę na zachowanie podkrytyczne słupów. Modele MES walidowano do własnych badań doświadczalnych. Walidowane modele użyto do obszernej analizy parametrycznej.

Zaproponowano także autorski model analityczny sztywno-plastycznego słupa stalowego o prostokątnym przekroju zamkniętym.

Rozdz. 7, „Podsumowanie i wnioski”; (6 stron) zawiera wnioski szczegółowe, kierunki dalszych badań oraz wskazówki do praktycznego zastosowania.

3. Ogólne uwagi merytoryczne

Zawężenie w tytule rozprawy zakresu do słupów ściskanych osiowo nie jest właściwe. Po pierwsze, słupy osiowo ściskane są idealizacją stanu nie występującego w praktyce. Do oszacowania ciągłości poziomej stosuje się przecież obciążenie przyłożone poziomo, co wywołuje moment zginający i słup jest ściskany mimośrodowo. Poza tym, uwzględnienie w analizie imperfekcji oraz nie osiowego przekazywania obciążeń z rygli na słupy, nawet w układach stężonych, też wywołuje momenty zginające w słupach.

Nie przedstawiono w sposób jawny tez rozprawy, choć nie jest to formalnie wymagane. W zastępstwie sformułowano problemy i cele naukowe.

Wymaga komentarza wniosek ze strony 70, że zwiększenie mimośrodowo przyłożenia obciążenia powoduje wzrost ciągłości pionowej słupów zespolonych.

W rozdz. 3.1, Autor sprawnie poradził sobie z dyskutowanym szeroko zagadnieniem jakie charakterystyki materiałowe, obciążenia, imperfekcje, stosować w analizach nieliniowych konstrukcji, w celu ustalania charakterystyk konstrukcji, takich jak nośność, ciągłość, itp.

Nie podano na jakich założeniach oparto uzyskane na rys. 3.11 wykresy (jakich przekroji słupów to dotyczy, ich smukłości, warunków zamocowania na końcach, itp.).

O jakiej wartości, i na jakich założeniach, przyjęto parametry c , k , R_{pl} , na rys. 4.1.

Badania opisane w Rozdz. 5 zostały starannie przygotowane, dobrze przemyślane i prawidłowo wykonane. Brak jednak informacji o pomiarach inwentaryzacyjnych próbek do badań (grubości ścianek rur, odchyłek wymiarowych, imperfekcji geometrycznych, na przykład wygięć wstępnych). Nie podano także warunków zamocowania słupów w maszynie wytrzymałościowej i sposobu przykładania obciążenia. Jaka była metodologia przykładania obciążeń do próbek, czyli czy było to obciążenie monotoniczne, czy stosowano cykle obciążenie-odciążenie.

Czy uwzględniono wpływ efektu skali, tak aby wyniki badań mogły być uogólnione na przekroje realnie występujące w praktyce.

Zwraca uwagę bardzo wnikliwy i dogłębny opis fizyki zachowania się badanych elementów konstrukcyjnych, dotyczy to nie tylko badań doświadczalnych, ale także analiz wyników modeli numerycznych.

Nie do końca jasno przedstawiono jaki model materiałowy stali zastosowano w modelach MES, czy były to modele true strain-true stress, stosowane w pokrytycznej fazie pracy, przy dużych odkształceniach konstrukcji stalowych?

Zastosowano walidację modeli MES polegającą na porównaniu wyników MES z wynikami badań doświadczalnych – uzyskując zadowalające wyniki. Obecnie standardem jest wykonywanie walidacji hierarchicznej. Rozpoczyna się ją od porównania wyników badań materiałowych (próbki na rozciąganie), poprzez badania na podzespołach, na całych elementach kończąc.

Szeroka analiza parametryczna pozwoliła na wysnucie wielu bardzo cennych, także z praktycznego punktu widzenia wniosków, co do kształtowania elementów konstrukcyjnych w celu uzyskania wymaganej ciągliwości konstrukcji. Uzyskane wyniki mają jednak charakter jakościowy. Aby uzyskać wynik ilościowy, np. w postaci formuły analitycznej, należało zastosować np. adaptację teorii planowania eksperymentu do celów symulacji MES.

Czy przedstawiony na rys. 6.32 model słupa nie jest zbyt uproszczony? Szczególnie chodzi o nieprzesuwne podparcie górnego końca słupa.

Zamiennie używa się w tekście pojęcia weryfikacji i walidacji modelu MES, co nie jest równoznaczne.

Niektóre wnioski szczegółowe, np. 4 i 7, nie wynikają z treści rozprawy.

Do osiągnięć Doktoranta, zasługujących na szczególne wyróżnienie, należą:
- propozycja własnej, energetycznej miary ciągliwości słupów ściskanych osiowo,

- oszacowania wymaganej ciągłości pionowej słupów poddanych oddziaływaniom sejsmicznym oraz wybuchowi,
- wytyczne weryfikacji stateczności ściskanych słupów z uwzględnieniem ich ciągłości.

4. Uwagi szczegółowe

- w streszczeniu nie powinno się używać skrótów, w tym wypadku CFST, bez ich rozwinięcia,
- pierwsze zdanie we Wstępie odnosi się do wszystkich konstrukcji, nie tylko smukłych, z ograniczoną liczbą słupów,
- strona 17₆; określenie „budynek ciągły” jest nieco żargonowe,
- strona 21₃; zamiast „celem” lepiej użyć „problemem”,
- Rys. 2.4, 4.1, 6.22; podpis bez tytułu,
- Rys. 2.4b; bardzo niekonstrukcyjne rozwiązanie węzła,
- str. 299; nieścisłość, tylko przekroje klasy 1 (wyjątkowo 2) są uznawane za krępe, czyli zdolne do utworzenia przegubu plastycznego,
- str. 719: lepiej: „analiz numerycznych”,

5. Uwagi formalno-redakcyjne

Układ pracy jest prawidłowy, dobrze przemyślany. Bardzo cenne jest krótkie wprowadzenie do każdego merytorycznego rozdziału. Szkoda jednak, że zabrakło także podsumowania każdego rozdziału. Bardzo rzetelnie i drobiazgowo przedstawiono oznaczenia symboli i skrótów.

Język rozprawy oceniam bardzo wysoko, w pracy stwierdzono nieliczne literówki, interpunkcja na dobrym poziomie. Zwraca uwagę wysoki poziom edytorski i graficzny, szczególnie załączonych rysunków. Wszystkie pozycje literatury zamieszczone w wykazie są bezpośrednio cytowane w tekście pracy. Przy powołaniach literatury nie zachowano kolejności numerów cytowanych pozycji.

6. Wniosek końcowy

Doktorant w zakresie bardzo szerokim rozeznał potrzebny Mu obszar wiedzy, trafnie sformułował problem naukowy i cele pracy, oraz je w pełni zrealizował.

Wykazał umiejętność planowania i przeprowadzenia badań doświadczalnych, oraz interpretację i dyskusję ich wyników. Wykorzystał dostępne narzędzia obliczeniowe do analizy złożonych zagadnień konstrukcyjnych. Wykazał też odpowiedni zasób wiedzy z zakresu teorii konstrukcji i konstrukcji stalowych oraz zespolonych stalowo-betonowych. W rozprawie, wiedzę tą w sposób twórczy rozwinął, uzyskując rezultaty ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Merytoryczne uwagi krytyczne, które nie umniejszają wartości pracy, należy traktować jako wskazówki w dalszej pracy naukowej Doktoranta.

Recenzowana praca stanowi bardzo wartościowe osiągnięcie naukowe w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Doktorant wykazał się dużą wnikliwością i chęcią wyjaśniania uzyskanych wyników, ale także poznania i wyjaśnienia mechanizmów ich powstawania, co jest obecnie coraz rzadziej praktykowane.

W świetle powyższego stwierdzam, że mgr inż. Bartosz Grzeszykowski wykazał odpowiednie przygotowanie oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej, a recenzowana praca doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o tytule i stopniach naukowych (Dz.U. nr 65. poz. 595). Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Bartosza Grzeszykowskiego do publicznej obrony oraz o **wyróżnienie rozprawy** na zasadach przyjętych przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej.



