

Kielce 17.08.2021

WPEŁNIŁO
30.08.2021
461 2021

Przejski elu
10/08/2021
DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Grzeszykowskiego
pt. „ Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na ciągłość
słupów ściskanych osiowo”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi Uchwała nr 195/2021 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 01.06.201.

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Grzeszykowskiego pt. „Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na ciągłość słupów ściskanych osiowo”. Promotorem pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Elżbieta Szmigiera a promotorem pomocniczym dr inż. Aleksander Szwed.

2. Ogólna charakterystyka pracy i ocena trafności wyboru tematyki

Rozprawa doktorska została opublikowana w formie wydawnictwa książkowego o charakterze monograficznym zgodnie z wymaganiami publikacyjnymi Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Praca liczy 243 stron druku, zawiera dwa streszczenia, jedno pisane w języku polskim drugie natomiast w języku angielskim oraz zestawienie podstawowych oznaczeń. Formalnie dzieli się na siedem rozdziałów. Rozdział pierwszy zawiera wstęp, zarys i cele rozprawy. Rozdział drugi jest wprowadzeniem do szczegółowych rozważań. Mieści się w nim bardzo staranne podsumowanie stanu wiedzy w zakresie czterech

tematów: określenia ciągliwości w literaturze i normalizacji, metod uwzględniania oddziaływań wyjątkowych i sejsmicznych, miar ciągliwości poziomej i pionowej słupów, wpływu rozwiązań konstrukcyjnych na ciągliwość ściskanych osiowo rur wypełnionych betonem. Przegląd literatury dotyczącej ciągliwego zachowania słupów CFST kończą trafnie sformułowane wnioski umieszczone na stronie 70 pracy. W rozdziale trzecim Doktorant zaproponował dwie metody transformacji obliczeniowej ścieżek równowagi, mające na celu uwzględnienie różnic w opisie parametrów materiałowych stali i betonu. Na podstawie koncepcji granicznej wartości obciążenia wyjątkowego zaproponował autorską, energetyczną miarę ciągliwości słupów ściskanych osiowo. Rozdział czwarty poświęcił idei wymaganej ciągliwości konstrukcji. W celu lepszego zilustrowania omawianych problemów Doktorant przedstawił przykłady obliczania wymaganej ciągliwości pionowej słupów poddanych obciążeniom sejsmicznym i fali uderzeniowej, powstałej na skutek wybuchu. Rozdział zakończył wytycznymi, dotyczącymi wykorzystania bi-liniowej aproksymacji ścieżki równowagi, do weryfikowania stateczności słupów z uwzględnieniem ich ciągliwości. Rozdział piąty poświęcony jest autorskim, badaniom eksperymentalnym dotyczącym ciągliwości stalowych, zespolonych oraz żelbetowych słupów ściskanych osiowo. Rozdział szósty zawiera analizę numeryczną słupów zespolonych i stalowych wykorzystującą wyniki badań doświadczalnych opisanych w rozdziale piątym. Autor wykonał analizę parametryczną wpływu różnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych na ciągliwość prostokątnych słupów zespolonych CFST obciążonych osiowo. Dysertację kończą wnioski oraz zalecenia konstrukcyjne służące zwiększeniu ciągliwości pionowej słupów.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy wpływu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na ciągliwość słupów ściskanych osiowo. Celem pracy jest rozpoznanie możliwości świadomego zaimplementowania tego zjawiska w procesie optymalnego projektowania konstrukcji, narażonych na oddziaływania wyjątkowe. Podjęta w rozprawie tematyka jest aktualna i ważna z praktycznego punktu widzenia. Realizacja założonego celu dostarczyła oryginalnych wyników, charakteryzujących się dużą wartością poznawczą.

Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że przyjęty układ i sposób uporządkowania treści jest logiczny i czytelny. Rozprawa napisana jest poprawną polszczyzną, a jej strona graficzna nie budzi zastrzeżeń. Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny i wystarczający.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Grzeszykowskiego jest bardzo ciekawym i wartościowym opracowaniem łączącym badania doświadczalne z analizą numeryczną. Dodatkowo Doktorant korzysta z modeli uproszczonych pozwalających na szybkie oszacowanie szukanych parametrów co jest niezwykle przydatne w praktyce projektowej. Wykorzystuje do tego celu autorskie oprogramowanie opracowane w środowisku Wolfram Mathematica.

W rozprawie Doktorant wykazał niedostatki stosowanych powszechnie miar ciągliwości i zaproponował własną, energetyczną miarę ciągliwości konstrukcji. Dużą zaletą tej miary jest możliwość uwzględnienia całego kształtu ścieżki równowagi w zakresie przed i po-krytycznym. Autor słusznie zauważył, że na ciągliwość konstrukcji duży wpływ ma wyężenie słupa przed zaistnieniem obciążenia wyjątkowego. Oryginalnym osiągnięciem Doktoranta jest również propozycja dwóch autorskich metod transformacji ścieżek równowagi. Warto podkreślić, że przedstawiony w pracy model mechaniczny oscylatora o jednym stopniu swobody stanowi doskonałe narzędzie do śledzenia odpowiedzi dynamicznej konstrukcji na dowolne wymuszenie, w tym działania fali uderzeniowej czy obciążeń sejsmicznych. Doktorant obliczenia wymaganej ciągliwości ze względu na poziome oddziaływania sejsmiczne przedstawia na przykładzie ramy portalowej wykorzystując zasadę równości przemieszczeń oraz energii. Autor zwraca uwagę, że nieuwzględnienie pionowej składowej ruchów podłoża gruntowego może powodować znaczne wahania siły osiowej w słupach budynków, co w sposób oczywisty przekłada się na stateczność konstrukcji. Wpływ pionowych oddziaływań sejsmicznych ilustruje przykładem słupa wydzielonego z wielokondygnacyjnej stężonej ramy. Kolejnym etapem jest przedstawienie problemu wymaganej ciągliwości pionowej wydzielonego z trzonu budynku, ściskanego osiowo, słupa najniższej kondygnacji. Słup poddano obciążeniu dynamicznemu, wynikającemu z działania na elewację budynku fali uderzeniowej, powstałej na skutek wybuchu. Przeprowadzone obliczenia, komentarze i wyciągnięte wnioski świadczą o opanowaniu przez Doktoranta znacznej wiedzy w zakresie nauk technicznych, związanych z dyscypliną inżynieria lądowa i transport. Widoczna jest bardzo dobra znajomość wytrzymałości materiałów i mechaniki budowli, w szczególności w zakresie teorii stateczności i dynamiki budowli.

Rozdział piąty rozprawy Doktorant poświęcił badaniom doświadczalnym, których celem było uzyskanie ścieżek równowagi słupów zespolonych, stalowych oraz żelbetowych w zakresie przed i po-krytycznym. Autor rozprawy w badaniach wziął pod uwagę szereg parametrów. Zmiennymi parametrami były: rozwiązania konstrukcyjne słupów (elementy stalowe, zespolone i żelbetowe), geometria przekroju stalowego w słupach zespolonych i stalowych, smukłość elementów badawczych, grubość ścianki rury stalowej, wytrzymałość betonu, klasa stali konstrukcyjnej, średnica zbrojenia zwykłego. Całkowita liczba zbadanych słupów to 21 zespolonych, 5 stalowych oraz 12 żelbetowych. Doktorant wyniki badań doświadczalnych słupów ściskanych osiowo przedstawił w postaci ścieżek równowagi w wersji wymiarowej (wykresy typu siła-skrócenie pręta) oraz bezwymiarowej (wartości sił dla poszczególnych słupów na osi rzędnych podzielił przez ich nośność). Cytując „Zdaniem autora, łatwiej na nich dostrzec intensywność spadku krzywych w po-krytycznej fazie pracy słupów, przez co łatwiej ocenić ich ciągliwość”. Recenzent całkowicie zgadza się z tym stwierdzeniem. Doktorant bardzo wnikliwie przeanalizował zaobserwowane postacie zniszczenia słupów i ocenił wpływ poszczególnych parametrów na ich ciągliwość. Dodatkowo podczas badań doświadczalnych wykonał pomiary rozkładu składowych przemieszczenia słupów metodą cyfrowej korelacji obrazu za pomocą systemu ARAMIS. Następnie obliczone przez program pola odkształceń wyeksportował z programu ARAMIS do plików tekstowych, które to zaimportował do programu MATHEMATICA. W wyniku obliczeń, dla każdego elementu badawczego otrzymał wykresy warstwiczne odkształceń.

Podsumowując zrealizowane przez Doktoranta badania doświadczalne zostały właściwie zaprogramowane, odpowiednio opisane i udokumentowane. Metodyka zrealizowanych badań nie budzi żadnych zastrzeżeń. Uzyskane rezultaty Autor przedstawił w sposób jasny i czytelny w formie graficznej w postaci licznych wykresów i zestawień tabelarycznych. Przeprowadzona została poprawna analiza, interpretacja uzyskanych rezultatów i na tej podstawie sformułowano trafne wnioski.

W rozdziale szóstym Doktorant ciągliwość słupów ściskanych osiowo analizował także na podstawie sporządzonych modeli numerycznych i analitycznych słupów stalowych i zespolonych stosując program Abaqus. Walidację modeli numerycznych stalowych i zespolonych słupów ściskanych osiowo przeprowadził na podstawie wyników badań doświadczalnych opisanych w rozdziale piątym. Autor przeprowadził analizę parametryczną

wpływu różnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych na ciągliwość prostokątnych słupów zespolonych CFST obciążonych osiowo oraz przedstawił własny model analityczny sztywno-plastycznego słupa, służący do obliczania ścieżek równowagi osiowo ściskanych smukłych słupów stalowych o przekroju rurowym.

Autor rozprawy doktorskiej na podstawie uzyskanych wyników badań doświadczalnych oraz przeprowadzonych analiz numerycznych stwierdził, „że zarówno słupy stalowe, jak i zespolone, rozważane jako elementy wydzielone z całej konstrukcji, wykazują zdolność do przenoszenia resztkowych obciążeń w po-krytycznej fazie pracy. W stanie awaryjnym konstrukcji może się to przyczynić do zachowania stateczności całego budynku po ustąpieniu obciążenia wyjątkowego. Ponadto z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynika, że ciągliwość osiowo ściskanych słupów żelbetowych jest niewielka, w porównaniu do słupów stalowych lub zespolonych o porównywalnej nośności.” Wniosek przedstawiony przez Autora jest jak najbardziej słuszny i pokazuje rezerwy nośności tak istotne w obecnym trendzie poszukiwania coraz bardziej optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Podczas realizacji rozprawy Doktorant wykazał się ogromną pracowitością i systematycznością. Zakres wykonanych badań eksperymentalnych, obliczeń analitycznych oraz symulacji numerycznych budzi uznanie. Zdaniem Recenzenta praca zasługuje na wyróżnienie.

4. Uwagi redakcyjne i edytorskie

W rozdziale czwartym:

-w tekście na stronie 87 „o nośności granicznej F_{pl} ” powinno być o nośności granicznej R_{pl} .

-w tekście na stronie 87 brak zamknięcia nawiasu lub przecinka.

W rozdziale piątym:

-w tekście na stronie 121 „stopień zbrojenia w żelbetowych elementach badawczych wynosiła” powinno być wynosił,

-na rys. 5.3 (strona 122) w opisie serii D powinno być RHS 120x80x3,

-w tekście na stronie 131 „na osi odciętych podzielono” powinno być na osi rzędnych podzielono.

W rozdziale szóstym:

- w tekście na stronie 170 „metoda obliczeniowa” powinno być moduł obliczeniowy,
- we wzorze 6.14 na stronie 173 brak indeksu dolnego F dla zmiennej A,
- w tekście na stronie 187 „w programie Abaqus/ Explicit wykorzystuje się bezwarunkowo stabilny schemat niejawnego całkowania równań” powinno być Abaqus/Standard,
- w tekście na stronie 197 „Ścieżki unormowane otrzymano w taki sposób, że dla poszczególnych słupów, wartości sił na osi odciętych podzielono przez ich nośność, $n = N/N_{max}$, a wartości przemieszczeń na osi rzędnych przez przemieszczenie przy nośności granicznej, $\delta = x/x_{N_{max}}$ ” powinno być Ścieżki unormowane otrzymano w taki sposób, że dla poszczególnych słupów, wartości sił na osi rzędnych podzielono przez ich nośność, $n = N/N_{max}$, a wartości przemieszczeń na osi odciętych przez przemieszczenie przy nośności granicznej, $\delta = x/x_{N_{max}}$.

W rozdziale siódmym:

- w tekście na stronie 228 „możliwość określenie warunków wystarczającej ciągłości pionowej słupów ściskanych osiowo wymagało pogłębienia znajomości modelowania ścieżek równowagi ” powinno być: możliwość określenia warunków wystarczającej ciągłości pionowej słupów ściskanych osiowo wymagała pogłębienia znajomości modelowania ścieżek równowagi.

5. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Obserwując przedstawione przez Doktoranta unormowane ścieżki równowagi słupów Recenzent zastanawia się czy istnieje możliwość poszukania pewnych, charakterystycznych niezmienników, które pozwoliłyby opisać ścieżki w sposób analityczny. Poprzez opis analityczny otrzymalibyśmy również możliwość stworzenia miary intensywności spadku ścieżki w zakresie po-krytycznym. Proszę o ustosunkowanie się Doktoranta to w/w kwestii.

W opisie właściwości betonu na stronie 129 bardzo starannie podano parametry statystyczne wartość średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności. Umieszczony na stronie 126-127 opis właściwości stali konstrukcyjnej nie zawiera tych danych. Proszę o wyjaśnienie.

„Na Rys. 6.12 przedstawiono porównanie ścieżek równowagi, a na Rys. 6.13 postaci deformacji modelu słupa DS2, obliczone za pomocą programu Abaqus/Explicit (całkowanie jawne) i Abaqus/Standard (całkowanie niejawne). Analizując przedstawione wyniki można dojść do wniosku, że różnice w zachowaniu się modeli obliczeniowych są nieznaczne.” Jakiego były więc przesłanki do stosowania modułu obliczeniowego Abaqus/ Explicit? Proszę o bardziej szczegółowy komentarz.

W mojej opinii warto było w rozprawie przedstawić kierunki dalszych badań. Zrealizowany przez Doktoranta zakres badań doświadczalnych i numerycznych daje szerokie spektrum dalszych, owocnych eksperymentów badawczych.

6. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska rozwiązuje oryginalny problem naukowy jakim jest badanie wpływu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na ciągłość słupów ściskanych osiowo. Sformułowany w rozprawie cel został, moim zdaniem, osiągnięty.

Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami programowania i prowadzenia badań doświadczalnych. Zrealizował obszerny zakres tych badań, otrzymał oryginalne wyniki, przeanalizował je, krytycznie ocenił i sformułował poprawne wnioski. Świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu i predyspozycjach Doktoranta do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

W mojej opinii rozprawa wnosi w przedmiotowym temacie istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport i ma duże znaczenie zarówno naukowe jak i praktyczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi odnośnie do prac doktorskich zawarte w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz Rozporządzeniu Ministra i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22.09.2011 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w

dr hab. inż. Urszula Radoń, prof. PŚk
KATEDRA MECHANIKI, KONSTRUKCJI METALOWYCH
I METOD KOMPUTEROWYCH
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA

postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (wraz z późniejszymi zmianami)”. Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z wyrazami szacunku

dr hab. inż. Urszula Radoń, prof. PŚk

Handwritten signature of Urszula Radoń in black ink, written in a cursive style.