

Gdańsk, dnia 11.09.2021

prof. dr hab. inż. Robert Jankowski
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
tel.: (58) 3472200
e-mail: jankowr@pg.edu.pl

Recenzja

pracy doktorskiej mgra inż. Damiana Kukli pt.

Stalowe konstrukcje ramowe w wybranych sytuacjach wyjątkowych

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania niniejszej recenzji pracy doktorskiej jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej, prof. dra hab. inż. Tomasza Siwowskiego, z dnia 15.07.2021 i dołączona do niego rozprawa doktorska mgra inż. Damiana Kukli pt. „*Stalowe konstrukcje ramowe w wybranych sytuacjach wyjątkowych*” wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Aleksandra Kozłowskiego.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca dotyczy zachowania się stalowych konstrukcji ramowych poddanych sytuacjom wyjątkowym na skutek utraty słupa. W początkowej części rozprawy dokonano przeglądu i analizy aktualnego stanu wiedzy z zakresu analizowanej tematyki. Następnie opisano wyniki badań doświadczalnych materiałowych elementów składowych oraz wyizolowanych obustronnych śrubowych węzłów doczołowych w układzie krzyżowym belka-słup-belka. W kolejnej części pracy przedstawiono przebieg tworzenia, wyniki i walidację modeli numerycznych węzłów zbadanych doświadczalnie, a także analizę numeryczną płaskich podukładów ramowych. Kontynuacją badań numerycznych są wyniki analiz oceny odporności na katastrofę postępującą płaskich stalowych konstrukcji ramowych w przypadku utraty słupa środkowego. W końcowej części rozprawy przedstawiono koncepcje modyfikacji węzłów mające na celu poprawę nośności i zdolności do obrotów węzłów. Dysertacja ma charakter eksperymentalno-numeryczny.

Praca liczy 258 stron i zawiera 342 rysunki, 25 tablic, 26 ponumerowane wzory oraz 140 pozycji bibliografii. Napisana jest ona w języku polskim i obejmuje: spis podstawowych oznaczeń, 9 numerowanych rozdziałów (w tym „Wstęp” i „Podsumowanie”), bibliografię, załączniki („Wyniki analiz numerycznych układów ramowych”) oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

3. Treść pracy oraz uwagi krytyczne i redakcyjne

3.1. Rozdział 1 (5 stron)

We wstępie do rozprawy przedstawiono wprowadzenie do zagadnienia związanego z zachowaniem się stalowych konstrukcji ramowych w wybranych sytuacjach wyjątkowych. Opisano problem naukowy oraz cel pracy, a także podano tezę rozprawy.

3.2. Rozdział 2: „Analiza tematu” (46 stron)

W rozdziale przeanalizowano zapisy normowe dotyczące projektowania konstrukcji na obciążenia wyjątkowe, przedstawiono wyniki dotychczasowych prac z zakresu analizowanego tematu oraz opisano mechanizmy zawalenia postępującego.

Uwagi

- Błędnie zastosowano wyraz „ilość” zamiast „liczba” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „ilość śrub” zamiast „liczba śrub” (strona 29), „ilość rzędów” zamiast „liczba rzędów” (strona 43), „ilość słupów” zamiast „liczba słupów” (strona 55).
- W kilku miejscach występują błędy językowe, np.: „jest nie możliwe” zamiast „jest niemożliwe” (strona 46), „słupów zewnętrznych, jak i zewnętrznych” zamiast „słupów zewnętrznych, jak i wewnętrznych” (strona 19), „jedna dziesiąta drgań własnych” zamiast „jedna dziesiąta okresu drgań własnych” (strona 19), „zapewnić dostateczna sztywność” zamiast „zapewnić dostateczną sztywność” (strona 23), „tempo odkształcenia” oraz „szybkość odkształcenia” zamiast „prędkość odkształcenia” (strona 25, 51 i 52), „mechanizmu zawalenie” zamiast „mechanizmu zawalenia” (strona 27), „z różnych ich klasą” zamiast „z różną klasą” (strona 30), „znaczną zdolności do obrotu” zamiast „znaczną zdolnością do obrotu” (strona 32), „polegającej na przesunięcie osi” zamiast „polegającej na przesunięciu osi” (strona 32), „w czasie wystąpienie usunięcia” zamiast

„w czasie wystąpienia usunięcia” (strona 34), „doszło zmiany” zamiast „doszło do zmiany” (strona 36), „przez co możliwy rozwój” zamiast „przez co możliwy był rozwój” (strona 38), „zaobserwowano znacznie deformacje” zamiast „zaobserwowano znaczne deformacje” (strona 41), „wysokość na poziomem” zamiast „wysokość nad poziomem” (strona 41), „w ocenia odporności” zamiast „w ocenie odporności” (strona 43), „do pas słupa” zamiast „do pasa słupa” (strona 49), „w analize” zamiast „w analizie” (strona 51),

3.3. Rozdział 3: „Badania doświadczalne” (27 stron)

Tematem rozdziału są badania doświadczalne materiałowe elementów składowych oraz wyizolowanych obustronnych śrubowych węzłów doczołowych w układzie krzyżowym belka-słup-belka. Badania obejmowały sześć próbek, w których jako zmienną przyjęto rodzaj i grubość blachy czołowej w węźle.

Uwagi

- Na Rys. 3.11 zaprezentowano wykres dla próbki S.4.2, dla której zniszczenie nastąpiło wcześniej niż w przypadku pozostałych dwóch próbek z tej samej grupy. Autor wyjaśnia powód takiej sytuacji pisząc na stronie 68: „Powodem było nieodpowiednie przygotowanie próbki na wytwórni przez zbyt duże wybranie materiału przy przejściu z części uchwytywnej do części środkowej. Zniszczenie próbki ujawniło się poza zakresem odczytu ekstensometru z dwóch punktów pomiarowych, stąd znaczna różnica w odkształceniu w odniesieniu do pozostałych próbek.” Dlaczego jednak (wobec stwierdzenia niewłaściwego przygotowania próbki) nie zdecydowano się na powtórzenie tego badania dla nowej próbki? Warto też zwrócić uwagę, iż podobna sytuacja wystąpiła dla jednego z testów, których wyniki pokazano na Rys. 3.12.
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „z części uchwytywnej do części środkowej” zamiast „z części uchwytywnej do części środkowej” (strona 68), „znaczny przyrosty siły” zamiast „znaczny przyrost siły” (strona 70), „największym deformacją ... poddane były” zamiast „największym deformacjom ... poddane były” (strona 75), „zaczęły pojawiać niewielkie” zamiast „zaczęły pojawiać się niewielkie” (strona 81), „podzielić można dwie strefy” zamiast „podzielić można na dwie strefy” (strona 82).

3.4. Rozdział 4: „Budowa i walidacja modelu numerycznego” (14 stron)

W rozdziale przedstawiono przebieg tworzenia, wyniki i walidację modeli numerycznych węzłów zbadanych doświadczalnie. Wyniki analiz numerycznych porównano z wynikami badań doświadczalnych.

Uwagi

- Na stronie 90 czytamy: „*Jak można zauważyć na wykresach (rys. 4.3) uzyskana została zadowalająca zbieżność wyników walidacji*” (podobne sformułowania znaleźć również można na kolejnych stronach). Autor nie podał jednak w jaki dokładnie sposób porównano ze sobą wyniki z badań doświadczalnych i analiz numerycznych. Czy porównano jedynie wartości sił maksymalnych (por. Tabelę 4.1)?
- Błędnie zastosowano wyraz „*ilość*” zamiast „*liczba*” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „*ilość elementów*” zamiast „*liczba elementów*” (strona 94).
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „*lecz ograniczeniem*” zamiast „*lecz z ograniczeniem*” (strona 92), „*Ze względu na dużą liczbą styków*” zamiast „*Ze względu na dużą liczbę styków*” (strona 93), „*Znaczne deformacja*” zamiast „*Znaczne deformacje*” (strona 97), „*próbki z blacha wystającą*” zamiast „*próbki z blachą wystającą*” (strona 101).

3.5. Rozdział 5: „Numeryczna analiza parametryczna” (13 stron)

Rozdział poświęcony jest wieloczynnikowej analizie parametrycznej przeprowadzonej dla zwalidowanych numerycznych modeli węzłów.

Uwagi

- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „*Węzeł ... zostało uszkodzony*” zamiast „*Węzeł ... został uszkodzony*” (strona 103), „*Węzły ... został zniszczone*” zamiast „*Węzły ... zostały zniszczone*” (strona 107), „*z blacha*” zamiast „*z blachą*” (strona 108 i 109).

3.6. Rozdział 6: „Analiza numeryczna podkonstrukcji ramowych” (8 stron)

Rozdział stanowi kontynuację analiz numerycznych w odniesieniu do płaskich podukładów ramowych. Przedstawiono proces tworzenia, wyniki oraz walidację modeli MES.

Uwagi

- Błędnie zastosowano wyraz „ilość” zamiast „liczba” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „ilość zastrzałów” zamiast „liczba zastrzałów” (strona 118).
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „Blacha ta został utwierdzona” zamiast „Blacha ta została utwierdzona” (strona 118), „Różnica ... przy zniszczenia” zamiast „Różnica ... przy zniszczeniu” (strona 121), „odkształcenia układu został zlokalizowane” zamiast „odkształcenia układu zostały zlokalizowane” (strona 122).

3.7. Rozdział 7: „Analiza numeryczna odporności konstrukcji ramowych” (63 strony)

W rozdziale skupiono się na analizach numerycznych dotyczących sytuacji katastrofy postępującej płaskich stalowych konstrukcji ramowych na skutek utraty słupa środkowego. Analizy przeprowadzono dla różnych możliwych przypadków awarii. Przedstawiono szczegółowe wyniki analiz oraz dokonano oceny odporności konstrukcji.

Uwagi

- Na stronie 126 Autor pisze: „Według UFC [18] zalecaną wartością kroku czasowego jest wartość 0,005. Ostatecznie, z powodu dużego rozmiaru modelu konstrukcji i potrzeby zredukowania czasu analizy przyjęto wartość wielkości kroku równą 0,01”. W zdaniach tych brakuje jednostek dla podanych wartości kroku czasowego (0,005s i 0,01s). Ponadto, czy porównano wyniki analiz dla tych dwóch wartości kroku czasowego?
- Błędnie zastosowano wyraz „ilość” zamiast „liczba” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „ilość węzłów” zamiast „liczba węzłów” (strona 183).
- W kilku miejscach występują błędy językowe, np.: „jest nie możliwe” zamiast „jest niemożliwe” (strona 183), „kolorem niebiskim” zamiast „kolorem niebieskim” (strona 129), „usunięcis słupa” zamiast „usunięcia słupa” (strona 129), „szybkość odkształcenia” zamiast „prędkość odkształcenia” (strona 130), „prowadząc do zawalenia konstrukcji” zamiast „prowadząc do zawalenia konstrukcji” (strona 134), „wartości ... różni się”

zamiast „wartości ... różnią się” (strona 135), „spadek wartość momentu” zamiast „spadek wartości momentu” (strona 139), „kolejnych awaria węzłów” zamiast „kolejnych awarii węzłów” (strona 140), „na poszczególne poziomu” zamiast „na poszczególne poziomy” (strona 149), „z niewielkimi” zamiast „z niewielkimi” (strona 151), „konstrukcje ... nie posiada” zamiast „konstrukcje ... nie posiadają” (strona 159), „charakteryzujące się o niewielkim rotacjami” zamiast „charakteryzujące się niewielkimi rotacjami” (strona 160), „zastosować należy ... węzłów doczołowych” zamiast „zastosować należy ... węzły doczołowe” (strona 165), „z blacha” zamiast „z blachą” (strona 166 i 183), „Ogólny widoki konstrukcji” zamiast „Ogólny widok konstrukcji” (strona 173).

3.8. Rozdział 8: „Propozycje modyfikacji węzłów” (7 stron)

W rozdziale przedstawiono koncepcje modyfikacji węzłów w celu poprawy nośności i zdolności do obrotów węzłów.

3.9. Rozdział 9: „Podsumowanie, wnioski, zalecenia i kierunki dalszych prac” (5 stron)

Rozdział poświęcono na podsumowanie pracy i wnioski końcowe. Przedstawiono również zalecenia i kierunki dalszych prac.

3.10. Bibliografia (10 stron)

Przedstawiono spis cytowanej literatury (140 pozycji) uporządkowanej alfabetycznie. Literatura dobrze nawiązuje do problematyki poruszanej w pracy.

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy ważnego problemu, jakim jest zachowanie się stalowych konstrukcji ramowych w sytuacjach wyjątkowych. Zainteresowanie badawczy tematyką odporności konstrukcji budowlanych na obciążenia wyjątkowe znacznie wzrosło w ostatnich latach, szczególnie po wydarzeniach 11 września 2001 kiedy doszło do zawalenia się bliźniaczych wież Światowego Centrum Handlu (WTC) w Nowym Jorku. Recenzowana praca ma zatem istotny wymiar praktyczny związany z zapobieganiem tragicznych w skutkach następstw katastrofy postępującej konstrukcji budowlanej. Celem podjętego w pracy tematu badawczego jest ocena zachowania się doczołowych nieuzbrojonych węzłów stalowych

w aspekcie nośności, dużych obrotów, ciągłości oraz rozwoju akcji ciągnowej. Na szczególne podkreślenie zasługuje przeprowadzenie obszernych badań eksperymentalnych dotyczących analizowanego zjawiska. Wyniki tychże badań wykorzystano następnie do walidacji modeli numerycznych, co umożliwiło wykonanie dokładnych analiz parametrycznych połączeń doczołowych oraz szczegółowych nieliniowych analiz płaskich podkonstrukcji ramowych. Na podstawie wyników badań opisanych w rozprawie dokonano oceny odporności układów ramowych z węzłami doczołowymi, poddanych wybranym sytuacjom wyjątkowym. Bardzo wartościową częścią pracy jest rozdział 8, w którym przedstawiono koncepcje modyfikacji węzłów w celu poprawy nośności i zdolności do obrotów węzłów. Wyniki analiz pokazały, iż zastosowanie dodatkowych elementów pasa rozciąganego prowadzi do zwiększenia nośności węzła od 70% do 90%, co stanowi znaczne osiągnięcie w porównaniu do wyjściowego układu węzła. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, iż opisane w rozdziale 8 wzmocnienia węzłów doczołowych obustronnych zgłoszono jednocześnie w postaci wniosków patentowych.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska świadczy o umiejętności formułowania i rozwiązywania przez jej Autora, mgra inż. Damiana Kukli, problemów związanych z zachowaniem się stalowych konstrukcji ramowych w wybranych sytuacjach wyjątkowych. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Sposób analizy i rozwiązywania stawianych zagadnień wskazuje, że Autor potrafi w pełni wykorzystać swą wiedzę i umiejętności.

Reasumując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa zdecydowanie spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę „*O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*” (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami) i dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie mgra inż. Damiana Kukli do publicznej obrony pracy.

