

Gdańsk, dnia 25.11.2020

prof. dr hab. inż. Robert Jankowski
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
tel.: (58) 3472200, fax.: (58) 3471670
e-mail: jankowr@pg.edu.pl

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Filipa Zakęś pt.

Dynamika belek wieloprzęsłowych i płyt podpartych punktowo poddanych działaniu obciążeń ruchomych

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania niniejszej recenzji pracy doktorskiej jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej, prof. dra hab. inż. Wojciecha Puły, z dnia 12.10.2020 i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. Filipa Zakęś pt. „*Dynamika belek wieloprzęsłowych i płyt podpartych punktowo poddanych działaniu obciążeń ruchomych*” wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Pawła Śniadego.

2. Ogólna charakterystyka pracy

W pracy przedstawiono sposoby wyznaczania drgań belek wieloprzęsłowych oraz płyt z punktowymi podporami pośrednimi, które poddane są działaniu ruchomych obciążeń nieinercyjnych. Przedstawione rozwiązania uzyskano przyjmując model belki Eulera-Bernoulliego oraz model cienkiej płyty izotropowej pod obciążeniem w postaci ruchomej siły skupionej oraz ruchomego obciążenia rozłożonego. Założono, iż obciążenie ruchome ma charakter deterministyczny oraz losowy. Dysertacja ma charakter analityczno-numeryczny.

Praca liczy 109 stron i zawiera 52 rysunki, 2 tablice, 294 ponumerowane wzory oraz 93 pozycje bibliografii. Napisana jest ona w języku polskim i obejmuje: spis treści, wykaz podstawowych oznaczeń, 9 numerowanych rozdziałów (w tym „*Wprowadzenie*”, i „*Podsumowanie*”), bibliografię oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

3. Treść pracy i uwagi krytyczne oraz redakcyjne

3.1. Rozdział 1: „Wprowadzenie” (5 stron)

We wstępie do rozprawy przedstawiono wprowadzenie do zagadnienia związanego z dynamiką belek wieloprzęsłowych i płyt poddanych działaniu obciążeń ruchomych. Opisano motywację związaną z podjęciem tego tematu.

3.2. Rozdział 2: „Cel i zakres pracy” (4 strony)

W rozdziale określono cel i zakres pracy doktorskiej. Szczegółowo przedstawiono również zawartość poszczególnych rozdziałów.

Uwagi

- Ani w tym rozdziale, ani też w innym miejscu pracy doktorskiej, nie podano tezy rozprawy. Pomimo braku formalnego wymogu w tym zakresie w przypadku rozpraw doktorskich, należy zwrócić uwagę, iż teza pomaga jednak w usystematyzowaniu prowadzenia pracy naukowej oraz przy analizie uzyskanych wyników.
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „*przemieszczeń układu*” zamiast „*przemieszczeń układu*” (strona 12), „*do określenie charakterystyk*” zamiast „*do określenia charakterystyk*” (strona 15).

3.3. Rozdział 3: „Dynamika belek jednoprzęsłowych” (24 strony)

Tematem rozdziału jest dynamika jednoprzęsłowych belek wg modelu Eulera-Bernoulliego o różnych schematach statycznych (belka swobodnie podparta, belka obustronnie utwierdzona, belka jednostronnie utwierdzona i swobodnie podparta). Dla tych układów konstrukcyjnych, wyznaczono funkcje własne oraz drgania wymuszone wynikające z obciążenia układu ruchomą siłą skupioną i ruchomym obciążeniem rozłożonym.

Uwagi

- Opisy wszystkich rysunków w tym rozdziale wykonano wykorzystując czcionkę pochyloną (kursywa). Tymczasem rysunki w pozostałych rozdziałach opisano stosując czcionką prostą (bez pochylenia).

3.4. Rozdział 4: „Dynamika belek wieloprzęślowych” (15 stron)

W rozdziale szczegółowo omówiono drgania wieloprzęślowych ciągłych belek pryzmatycznych poddanych działaniu obciążenia ruchomego. Zaproponowano także procedurę numeryczną do rozwiązania układu równań całkowych Volterry pozwalającą na określenie wartości reakcji podporowych w określonym czasie w zależności od kroku czasowego.

Uwagi

- Błędnie zastosowano wyraz „ilość” zamiast „liczba” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „ilość równań” zamiast „liczba równań” (strona 43).
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „krańca belki” zamiast „końca belki” (strona 44), „zależy najwyższej wartości” zamiast „zależy od najwyższej wartości” (strona 47).

3.5. Rozdział 5: „Dynamika układu dwóch belek sprzężonych” (6 stron)

Rozdział poświęcony jest drganiom złożonego układu dwóch sprzężonych ze sobą belek Eulera-Bernoulliego (połączonych ze sobą więziami sprężystymi), z których jedna belka poddana jest działaniu obciążenia ruchomego. Przedstawiono przykład rozwiązania dla układu belek połączonych ze sobą dwiema więziami sprężystymi.

3.6. Rozdział 6: „Dynamika cienkich płyt izotropowych” (13 stron)

W rozdziale omówiono dynamikę cienkich prostokątnych płyt izotropowych podpartych swobodnie na swoim obwodzie oraz punktowo za pośrednictwem dowolnej liczby podpór pośrednich. Przedstawiono przykład rozwiązania dla płyty swobodnie podpartej z dwiema podporami pośrednimi.

Uwagi

- W rozdziale uwzględniono uproszczoną sytuację, gdy ruchome obciążenie działające na płytę (obciążenie równomiernie rozłożone lub siła skupiona) porusza się ze stałą prędkością. Tymczasem w przypadku rzeczywistej konstrukcji (np. strop przejścia podziemnego), możemy mieć do czynienia ze zmienną prędkością ruchu obciążenia. Jak

zmieni się zatem rozwiązanie dla analizowanej płyty, gdy uwzględnimy zmienną prędkość ruchu obciążenia?

- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „*jak punkcie poprzednim*” zamiast „*jak w punkcie poprzednim*” (strona 65), „*wzór pierwszą prędkość*” zamiast „*wzór na pierwszą prędkość*” (strona 71), „*różne prędkości ruchy siły*” zamiast „*różne prędkości ruchu siły*” (strona 72).

3.7. Rozdział 7: „Układy dyskretne” (17 stron)

Rozdział poświęcony jest dynamice układów dyskretnych. Przedstawiono przykład rozwiązania dla belki trójprzęsłowej o zmiennym przekroju poddanej działaniu siły skupionej. Zadanie rozwiązano stosując metodę różnic skończonych i metodę granulacji mas.

Uwagi

- Równania (7.7), (7.23) i (7.28) to dynamiczne równania ruchu dla zakresu liniowego. Tymczasem ekstremalne obciążenie dynamiczne może doprowadzić do sytuacji, gdy odpowiedź konstrukcji będzie nieliniowa. Jak zmieni się zatem rozwiązanie dla analizowanych układów, gdy uwzględnimy nieliniowe zachowanie się konstrukcji?
- Błędnie zastosowano wyraz „*ilość*” zamiast „*liczba*” do opisu rzeczowników policzalnych, np. „*ilością punktów masowych*” zamiast „*liczbą punktów masowych*” (strona 74), „*ilość równań*” zamiast „*liczba równań*” (strona 81).
- W kilku miejscach występują drobne błędy językowe, np.: „*pozwalających na zastąpieniu równań*” zamiast „*pozwalających na zastąpienie równań*” (strona 74), „*macierz ... określimy podstawie*” zamiast „*macierz ... określimy na podstawie*” (strona 76).

3.8. Rozdział 8: „Ruchome obciążenia losowe” (5 stron)

W rozdziale przeanalizowano wpływ ruchomych obciążeń losowych. Wykorzystano dynamiczną funkcję wpływu opisującą drgania analizowanej konstrukcji poddanej działaniu ruchomej jednostkowej siły skupionej. W analizie przyjęto obciążenie losowe w postaci czasoprzestrzennego stacjonarnego procesu stochastycznego oraz w postaci losowej serii ruchomych sił skupionych.

Uwagi

- Podczas analizy założono, iż obciążenie losowe jest stacjonarnym „białym szumem”. Nie podano jednak jaki wpływ na uzyskane wyniki miało przyjęcie takiego właśnie założenia.
- W rozdziale uwzględniono uproszczoną sytuację, gdy ruchome obciążenie losowe (seria sił skupionych) działające na belkę wieloprzęślową porusza się ze stałą prędkością. Jak zmieni się rozwiązanie dla analizowanej konstrukcji, gdy uwzględnimy zmienną prędkość ruchu obciążenia?
- Błędnie zastosowano wyraz „ilość” zamiast „liczba” do opisu rzeczownika policzalnego, zob. „ilość ... sił wzbudzających” zamiast „liczba ... sił wzbudzających” (strona 91).

3.9. Rozdział 9: „Podsumowanie” (2 strony)

Rozdział poświęcono na podsumowanie pracy i wnioski końcowe.

3.10. Literatura (8 stron)

Przedstawiono spis cytowanej literatury (93 pozycje) uporządkowanej alfabetycznie. Literatura dobrze nawiązuje do problematyki poruszanej w pracy. Dotyczy ona głównie zagadnień związanych z dynamiką belek i płyt.

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy ważnego problemu, jakim są drgania belkowych oraz płytowych układów konstrukcyjnych podpartych punktowymi podporami pośrednimi, które poddane są działaniu ruchomych obciążeń nieinercyjnych. Tego typu układy konstrukcyjne są bardzo często używane w praktyce budowlanej, np. w postaci mostów drogowych czy kolejowych, kładek dla pieszych oraz stropów nad przejściami komunikacyjnymi. Recenzowana praca ma zatem istotny wymiar praktyczny. Do wyznaczenia drgań analizowanych belek i płyt wykorzystano podejście oparte na statycznej metodzie sił, które polega na zastąpieniu układu równań zgodności przemieszczeń układem równań całkowych Voltery pierwszego i drugiego rodzaju (pierwszego w przypadku podpór nieodkształcalnych oraz drugiego w przypadku punktowych więzi sprężystych). Niewątpliwą zaletą takiej metody jest całkowite pominięcie potrzeby wykonania przestrzennej dyskretyzacji układu. Dodatkowym atutem jest także prosta procedura numeryczna zastosowana w recenzowanej pracy doktorskiej. Podkreślić należy również, iż rozwiązania

uzyskane w przypadku obciążeń deterministycznych mogą być z powodzeniem wykorzystane w analizie drgań losowych. Możliwe jest to dzięki zastosowaniu dynamicznej funkcji wpływu opisującej drgania konstrukcji na skutek ruchomego obciążenia.

Praca napisana została poprawnie pod względem językowym, a kilka wskazanych w niniejszej recenzji błędów językowych w żaden sposób nie umniejsza pozytywnej opinii recenzenta w tym zakresie.

Na stronie 96 rozprawy, Autor zestawiał najbardziej oryginalne (jego zdaniem) elementy pracy, tj.:

- a) zastosowanie równań całkowych Voltery pierwszego i drugiego rodzaju w analizie drgań wieloprzęsłowych ciągłych belek pryzmatycznych poddanych działaniu ruchomych obciążeń nieinercyjnych,
- b) zastosowanie równań całkowych Voltery drugiego rodzaju w analizie drgań złożonych układów powstałych przez sprzężenie dwóch dźwigarów belkowych dyskretnym układem więzi sprężystych,
- c) zastosowanie równań całkowych Voltery w analizie drgań cienkich płyt izotropowych, które oprócz podparcia na obwodzie podparte są układem dowolnie rozmieszczonych podpór punktowych reprezentujących np. słupy podpierające płytę stropu,
- d) zastosowanie dyskretyzacji przestrzennej układu wg procedur metody różnic skończonych oraz granulacji mas, a także przedstawienie formuł opisujących wektory obciążeń węzłowych dla przypadku ruchomej siły skupionej oraz ruchomego obciążenia równomiernie rozłożonego,
- e) zastosowanie dynamicznej funkcji wpływu, opisującej drgania układu poddanego działaniu ruchomej siły jednostkowej, w analizie drgań losowych na przykładzie stacjonarnego czasoprzestrzennego procesu stochastycznego, a także losowej serii ruchomych sił skupionych.

Recenzent potwierdza oryginalność powyższych elementów ujętych w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska świadczy o umiejętności formułowania i rozwiązywania przez jej Autora, mgr inż. Filipa Zakęś, problemów związanych z dynamiką belek wieloprzęsłowych i płyt podpartych punktowo poddanych działaniu obciążeń

ruchomych. 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 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 mgr inż. Filipa Zakęś do publicznej obrony pracy.

