



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



Katedra Konstrukcji Inżynierskich
dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. PG

I.dz. 06/05/2023/KKI

POLITECHNIKA BYDGOSKA
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Wpłynęło..... 8.05.2023
Numer WBAiIS.....
Referent/symbol.....

05.05.2023r.

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

**Model numeryczny wyboczenia dynamicznego prętów
z wykorzystaniem metody elementów skończonych**

autorstwa **mgr inż. Izabeli Kasprzyk**

wykonanej na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Bydgoskiej
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
w dyscyplinie „Inżynieria lądowa, geodezja i transport”

1. Podstawa opracowania

Podstawą sporządzenia recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny „Inżynieria lądowa, geodezja i transport” dr inż. Justyny Sobczak – Piątki z dnia 31 marca 2023r. i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. Izabeli Kasprzyk pt. „Model numeryczny wyboczenia dynamicznego prętów z wykorzystaniem metody elementów skończonych” wykonana pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Adama Podhoreckiego jako Promotora i dr inż. Justyny Sobczak - Piątki jako Promotora Pomocniczego.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy bardzo aktualnej współcześnie tematyki możliwości wyboczenia elementu prętowego w wyniku impulsowego przyłożenia siły wymuszającej. Poruszana w recenzowanej dysertacji problematyka jest istotna z inżynierskiego punktu widzenia gdyż znajduje odzwierciedlenia w realnie projektowanych konstrukcjach które mogą ulegać zniszczeniu w wyniku mechanizmu opartego zarówno na lokalnej, jak też globalnej utracie stateczności. Praca jest napisana w języku polskim. Dysertacja ma postać wydawnictwa zwartej, charakterystycznego w zakresie szaty graficznej dla rozpraw doktorskich przygotowanych na Politechnice Bydgoskiej. Rozprawa doktorska liczy 103 numerowane strony formatu B5 i składa się z 8 Rozdziałów:

- (1) Wstęp,
- (2) Studia literaturowe dotyczące modelowania fizycznego i matematycznego stateczności prętów,
- (3) Przedmiot, cel oraz teza badawcza,
- (4) Sformułowanie początkowo-brzegowe wyboczenia prętów,
- (5) Równania ruchu w metodzie elementów skończonych,
- (6) Opis autorskiego modelu obliczeniowego,
- (7) Przykłady obliczeń z analizą,
- (8) Wnioski końcowe.

Niedostatkiwicz

W pracy znajduje się ponadto *Literatura* (rozumiana jako *Spis literatury*), *Streszczenie* (rozumiane jako streszczenie w języku polskim) oraz *Abstract* (rozumiany jako streszczenie w języku angielskim).

Bibliografia obejmuje ponad 100, a dokładnie 101, pozycji literatury. Na uwagę zasługuje fakt, że wśród pozycji literaturowych znajdują się publikacje zawierające opis podstaw dynamiki budowli, są też jednak pozycje literatury przedmiotu pochodzące z ostatniego okresu – dotyczy to w szczególności literatury zagranicznej zawierającej wyniki prowadzonych badań doświadczalnych oraz analiz teoretycznych.

W pracy brak jest spisu oznaczeń stosowanych w rozprawie doktorskiej, jak również brak jest spisu publikacji Autorki.

Wymienione powyżej braki nie wpływają w jakikolwiek sposób na wartość naukową recenzowanej rozprawy doktorskiej.

3. Treść rozprawy

Rozdział 1 (*Wstęp*) stanowi wprowadzenie w tematykę związaną z zagadnieniem stateczności prętów oraz problematyką sposobu wyznaczania siły krytycznej powodującej ich wyboczenie.

W Rozdziale 2 (*Studia literaturowe dotyczące modelowania fizycznego i matematycznego stateczności prętów*) przedstawiono w sposób bardzo syntetyczny i bardzo przejrzysty zbiór podstawowych informacji odnoszących się do problematyki modelowania stateczności prętów. W Rozdziale 2 zamieszczono przykłady matematycznego opisu przedmiotowego zagadnienia.

Rozdział 3 (*Przedmiot, cel oraz teza badawcza*) obejmuje przedstawienie w sposób bardzo scalony i skondensowany przedmiotu oraz celu opracowanej rozprawy doktorskiej. W Rozdziale 3 sformułowana została teza naukowa, której udowodnieniu poświęcone są kolejne Rozdziały.

W Rozdziale 4 (*Sformułowanie początkowo-brzegowe wyboczenia prętów*) który ma charakter teoretyczny opisano w sposób bardzo szczegółowy zagadnienia bezpośrednio związane z problematyką stateczności prętów, między innymi zdefiniowano równania statyczne i geometryczne oraz opisano warunki brzegowe.

Rozdział 5 (*Równania ruchu w metodzie elementów skończonych*) odnosi się do sposobu opisu równania ruchu niezbędego do rozwiązania problemu stateczności pręta przy pomocy Metody Elementów Skończonych (MES).

W Rozdziale 6 (*Opis autorskiego modelu obliczeniowego*) opisano autorski model obliczeniowy oraz wskazano kryterium oceny sposobu wyznaczania siły krytycznej.

Rozdział 7 (*Przykłady obliczeń z analizą*) jest zwieńczeniem rozprawy doktorskiej gdyż zawiera wyniki wykonanych analiz obliczeniowych.

W Rozdziale 8 (*Wnioski końcowe*) przedstawiono wnioski i spostrzeżenia będące wynikiem wykonanych analiz.

Rozprawa zakończona jest wykazem literatury zawierającym pozycje zarówno krajowe, jak również zagraniczne. Zasadniczo uwzględniono pozycje literatury naukowej oraz naukowo-technicznej odzwierciedlające współczesny poziom i zakres wiedzy w odniesieniu do tematyki stanowiącej przedmiot rozprawy doktorskiej.

4. Ocena rozprawy

Problemem naukowym, będącym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie metody umożliwiającej szacowanie wyboczenia dynamicznego elementu prętowego. Narzędziem umożliwiającym określenie przemieszczenia pręta pod wpływem siły wymuszającej jest Metoda Elementów Skończonych (MES).

Bardzo istotne jest to, że zakres przyjęty do analizy obliczeniowej obejmuje różne przypadki przykładania siły jako czynnika wywołującego wyboczenia:

- statyczną siłę skupioną działającą wzdłuż osi poziomej,
- siłę Heaviside'a,
- siłę harmoniczną zmienną, działającą wzdłuż osi poziomej.

Wynikiem przeprowadzonych analiz są wykresy przemieszczeń poprzecznych i podłużnych w funkcji czasu, określone dla różnych wartości amplitud sił wymuszających oraz analizy częstości drgań kołowych poprzecznych i podłużnych w zależności od amplitud sił wymuszających.

Zakres, jaki obejmuje rozprawa doktorska związany jest z celem pracy i można go przedstawić w następujących punktach:

- dokonanie krytycznego przeglądu literaturowego w zakresie tematyki związanej z zagadnieniem stateczności prętów oraz mechanizmów wyboczenia,
- próba usystematyzowania bazy wiedzy dotyczącej określania wartości sił krytycznych wywołujących wyboczenie,
- zbudowanie własnego algorytmu obliczeniowego poszukiwania obciążenia krytycznego rozumianego jako siła wyboczeniowa,
- opracowanie autorskiego kodu obliczeniowego w języku programowania C++,
- przeprowadzenie szczegółowych analiz obliczeniowych,
- podsumowanie wraz ze sformułowaniem wniosków naukowych oraz podanie kierunków dalszych badań mających na celu rozszerzenie i udoskonalenie wyników wykonanych do tej pory analiz teoretycznych.

W odczuciu Recenzenta za najważniejsze oryginalne elementy rozprawy można uznać:

- uporządkowany i bardzo szczegółowy przegląd literatury tematycznie związanej z przedmiotem rozprawy doktorskiej umożliwiający na wstępnym etapie czytania pracy wyrobienie sobie opinii o aktualnym poziomie wiedzy (informacji) odnośnie zagadnienia utraty stateczności elementów prętowych, w szczególności w wyniku ich dynamicznego wyboczenia,
- próbę uporządkowania i autorskiego podziału istniejących metod wyznaczania siły krytycznej,
- aplikacja autorskiego kodu poszukiwania wartości siły krytycznej do języka programowania C++ i stworzenie własnego kodu obliczeniowego,
- próba wykonania obliczeń wieloparametrycznych, uwzględniających wpływ wielu zmiennych, w tym próba uwzględnienia stopnia dyskretyzacji układu prętowego,
- wprowadzenie bardzo czytelnego systemu edycyjnego w przygotowanej rozprawie doktorskiej: ryciny (rysunki) i tabele są ujednoczone pod względem graficznym, nawet jeżeli są one elementami przywołanymi jako pochodzące z innych (obcych) pozycji literaturowych,

- docelowa możliwość wykorzystania przeprowadzonych analiz jako podstawa do próby formułowania szczegółowych zaleceń inżynierskich w zakresie projektowania elementów prętowych narażonych na wyboczenie,
- podsumowania znajdujące się pod koniec części z Rozdziałów są właściwej długości, nie pozostają w sprzeczności z wnioskami zamieszczonymi w podsumowaniu rozprawy doktorskiej.

5. Uwagi ogólne

Poniżej zamieszczono uwagi ogólne odnoszące się do całości opracowanej rozprawy doktorskiej.

- 5.1 Na początku rozprawy brak jest wskazania, do jakiego rodzaju, pod względem materiałowym, elementów można odnosić wnioski sformułowane na podstawie przeprowadzonych analiz – zamieszone w Rozdziale 1 ilustracje (Fot.1, Fot.2, Fot.3 oraz Fot. 4) przedstawiają konstrukcje żelbetowe, stalowe oraz żelbetowe ze zbrojeniem sztywnym – wskazane byłoby uszczegółowienie tego zagadnienia.
- 5.2 Autorka na etapie analizy obliczeniowej ogranicza zagadnienie utraty stateczności do pojedynczego pręta. W rzeczywistości w konstrukcjach inżynierskich mamy do czynienia z układami rozbudowanymi: dwuwymiarowymi (np. ramami płaskimi i kratownicami płaskimi) i przestrzennymi (np. ramami trójwymiarowymi i kratownicami strukturalnymi) – wskazane byłoby wyjaśnienie tego zagadnienia.
- 5.3 Autorka zakłada wyboczenie tylko w jednej płaszczyźnie co nie jest zgodne z prawdą bo postaci deformacji występują też jako złożone czyli wielokierunkowe – wskazane byłoby wyjaśnienie tego zagadnienia.
- 5.4 Wyniki zamieszczonych analiz teoretycznych dotyczą tylko i wyłącznie jednego rodzaju podpór dla schematu belki jednoprzęsłowej. Jest to istotne ograniczenie tzw. warunków brzegowych, które w realnych konstrukcjach inżynierskich występują w zdecydowanie szerszym zakresie – wskazane byłoby ustosunkowanie się do tego zagadnienia.
- 5.5 Przyjęty wymiar pręta poddanego szczegółowej analizie obliczeniowej (20×40 cm) trudno uznać za smukły. Na marginesie we wcześniejszych Rozdziałach rozprawy doktorskiej pręt który ma być docelowo przedmiotem analizy obliczeniowej określany jest jako krępy.
- 5.6 W pracy brak jest nawet krótkiej analizy jak zachowałby się opracowany algorytm poszukiwania siły krytycznej, nawet przy założeniu tylko i wyłącznie jednokierunkowego odkształcenia oraz pojedynczego, wybranego schematu statycznego, gdyby pręt był zdecydowanie smuklejszy – wskazane byłoby uszczegółowienie tego zagadnienia.
- 5.7 Wnioski końcowe sformułowane przez Autorkę mają charakter ogólny, wręcz beletrystyczny. Są to wnioski jakościowe, a nie ilościowe. Wnioski wymagają uściślenia.
- 5.8 Rozprawa nie posiada spisu użytych symboli, co zmniejsza czytelność pracy.
- 5.9 Dysertacja nie zawiera zestawienia publikacji Autorki, które powstały w okresie przygotowywania rozprawy doktorskiej, co uniemożliwia ocenę stopnia naukowej komercjalizacji uzyskanych podczas pracy nad doktoratem wyników.

6. Uwagi szczegółowe

Poniżej zamieszczono uwagi szczegółowe odnoszące się do opracowanej rozprawy doktorskiej

- 6.1. Przyjęcie przez Autorkę do obliczeń przekroju stalowego o wymiarach 20×40 cm wydaje się rozwiązaniem czysto teoretycznym, odbiegającym od realiów projektowania inżynierskiego. Uzyskane wyniki, poprawne merytorycznie, mają jednak charakter wyłącznie naukowy i prowadzą do bardzo przydatnego w pracy projektowej wyjaśnienia mechanizmu zniszczenia, ale co do wyników ilościowych są nie realne – powyższa sytuacja wymaga komentarza Autorki.
- 6.2. W pracy znajduje się stwierdzenie Autorki, że minimalna ilość elementów skończonych umożliwiająca uzyskanie poprawnych wyników powinna wynosić min. 50. Jednak szczegółowa analiza Tab. 7.1 wskazuje, że elementów tych powinno być więcej – powyższa sytuacja wymaga komentarza Autorki.
- 6.3. W pracy brak jest weryfikacji wykonanych obliczeń przy pomocy innego narzędzia obliczeniowego. Jak zostało to wcześniej wspomniane bardzo cennym osiągnięciem Autorki jest napisanie własnego kodu w języku programowania C++. Również w pełni niezaprzeczalnie bardzo istotne jest uwzględnienie przez Autorkę wpływu dyskretyzacji na jakość uzyskanych wyników. Jednak rodzi się pytanie na jakiej podstawie można jednoznacznie stwierdzić, że uzyskane w wyniku obliczeń kodem autorskim wyniki są wiarygodne i nie są obarczone błędem będącym wynikiem nieprawidłowego programowania będąc następstwem tzw. błędów algorytmicznych. Wskazane były by wykonanie sprawdzenia poprawności wyników przy pomocy inżynierskiego programu komercyjnego, co pozwoliło by na oszacowanie, czy poruszany w ramach rozprawy doktorskiej problem, po pierwsze jest możliwy do analizy przy pomocy ogólnodostępnych programów inżynierskich i po drugie jaki jest stopień możliwości symulacji analizowanego zjawiska – powyższa sytuacja wymaga komentarza Autorki.
- 6.4. Brak jest jednoznacznego wskazania ma czym polega wyższość zastosowanego autorskiego algorytmu wyznaczania siły krytycznej nad istniejącymi, powszechnie stosowanymi metodami: na czym polega i gdzie jest ukryty zysk przy stosowaniu autorskiego algorytmu – powyższa sytuacja wymaga komentarza Autorki.
- 6.5. Wyniki analiz obliczeniowych dla różnych przypadków posiadają zróżnicowane skale (zakres) na osi pionowej, co powoduje, że nie można określić wpływu parametrów zmiennych na wielkość przemieszczenia.
- 6.6. W pracy występują drobne błędy edycyjne. Jednak ich charakter świadczy o tym, że są one błędami nie zamierzonymi, np. wzory (4.1) oraz (4.14) mają różne czcionki. Powyższe niedoskonałości nie wpływają jednak w praktyce na wartość naukową recenzowanej pracy.

7. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska świadczy o umiejętności samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych przez jej Autorkę. Pomimo sformułowanych i przedstawionych powyżej uwag i spostrzeżeń krytycznych należy jednoznacznie stwierdzić, że Autorka opiniowanej rozprawy doktorskiej przeprowadziła badania teoretyczne na odpowiednim poziomie merytorycznym. Zaproponowany autorski program analizy teoretycznej, przeprowadzonej w oparciu o dynamiczny model wyboczenia pręta oraz uzyskane na jej podstawie wyniki wskazują jednoznacznie, że Autorka posiada potencjał naukowy który należy rozwijać.

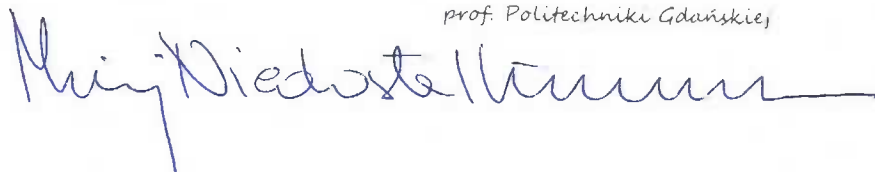
W mojej ocenie Autorka rozprawy wykazała się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w przedmiotowym zakresie oraz umiejętnością organizacyjną w zakresie planowania i prowadzenia prac teoretycznych. Uzyskane wyniki pracy świadczą o jej dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia działań o charakterze naukowo-badawczym.

Recenzowana praca ze względu na poruszaną tematykę doskonale wpasowuje się w dyscyplinę „Inżynieria lądowa, geodezja i transport”.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam jednoznacznie, 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) i dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Izabeli Kasprzyk do publicznej obrony.

dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz

prof. Politechniki Gdańskiej

A handwritten signature in blue ink, reading "Maciej Niedostatkiwicz". The signature is written in a cursive style with a long horizontal flourish at the end.