

Wrocław, 25 kwietnia 2018 r.

Dr hab. inż. Piotr Ruta, prof. nadzw. PWR  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej

## RECENZJA

Pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Adama Bońkowskiego pt.

**„Rotational effects for slender building structures under seismic excitations”**

(“Efekty rotacyjne smukłych konstrukcji budowlanych obciążonych sejsmicznie”)

### 1. Podstawa formalna

Recenzja opracowana została na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Zembatego, pismo RB00ST00/49/2018 z dnia 19 lutego 2018 roku. Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Adama Bońkowskiego o łącznej objętości 124 stron, napisana w języku angielskim, składa się z: 8 rozdziałów, spisu literatury obejmującego 152 pozycje, 3 dodatków oraz streszczenia w języku angielskim i polskim. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Zbigniew Zembaty, promotorem pomocniczym dr inż. Maciej Yan Minch.

### 2. Ocena celowości podjętej tematyki oraz omówienie treści rozprawy

Analiza drgań budowli poddanych działaniu wymuszeń sejsmicznych, ze względu na fakt potencjalnie „niszczącego” charakteru takiego wymuszenia, jest istotna z punktu widzenia praktyki inżynierskiej. Tematyka ta jest również interesująca z punktu widzenia poznawczego, ze względu na trudności pojawiające się przy rozwiązywaniu tego typu zagadnień. Podjęta przez doktoranta w pracy tematyka: analiza wpływu statycznego pochylenia konstrukcji oraz wpływu zmiennych w czasie obrotów podłoża (wywołanych przez fale sejsmiczne na powierzchni gruntu) na zachowanie smukłych, wysokich budowli jest zatem zagadnieniem ciekawym i ważnym. Dodatkowym argumentem za podjęciem tej tematyki jest również (o czym pisze w pracy doktorant) fakt intensyfikacji w ostatnich latach badań w dziedzinie wpływu dodatkowych rotacyjnych składników wymuszenia sejsmicznego na odpowiedź budowli.

Praca napisana w języku angielskim; podzielona na cztery logiczne części: I. General introduction, II. Seismic effects on leaning structures, III. Rotational effects on structural

vibrations, IV. Conclusions, references and appendices; składa się z 8 rozdziałów, spisu literatury obejmującego 152 pozycje (oznaczonego jako rozdział 9), 3 dodatków oraz streszczenia w języku angielskim i polskim.

W rozdziale 1 autor wprowadza czytelnika w problematykę omawianą w pracy, opisuje przykłady znanych, pochylonych konstrukcji oraz omawia cel, zakres i tezy pracy.

W rozdziale 2 przedstawiono podstawy teoretyczne – równania liniowe i nieliniowe wykorzystywane do wyznaczenia odpowiedzi (drgań) konstrukcji wywołanej zadaniem wymuszeniem sejsmicznym.

Rozdział 3 poświęcono omówieniu pozycji literatury dotyczących analizy drgań smukłych oraz smukłych i pochylonych konstrukcji poddanych wymuszeniom sejsmicznym.

W rozdziale 4 podano przykłady wstępnie pochylonych konstrukcji oraz przedstawiono wykorzystywane w literaturze równania stosowane w analizie tego typu budowli. W rozdziale opisano wybrane polskie zalecenia dotyczące projektowania budowli na terenach górniczych oraz opisano wykorzystywane w pracy elementy norm europejskich dotyczących stanów granicznych konstrukcji budowlanych. W rozdziale tym przedstawiono również wyniki analiz parametrycznych dwóch modeli konstrukcji: wysokiego komina (160m) oraz 30-piętrowego budynku. Analizy wykonano z uwzględnieniem nieliniowości fizycznych i geometrycznych (efekt P- $\Delta$ ). Badano wpływ wstępnego pochylenia badanych obiektów na ich statyczną i dynamiczną odpowiedź. Rozdział kończy się krótkim podsumowaniem.

Rozdział 5 poświęcony jest przeglądowi prac dotyczących analiz wpływu składników rotacyjnych wywołanych przez fale sejsmiczne na powierzchni podłoża na drgania budowli. W rozdziale tym autor przytacza również podstawowe wzory, otrzymane przez innych autorów, wykorzystywane do wyznaczenia składników rotacyjnych na bazie pomierzonych przemieszczeń translacyjnych.

W rozdziale 6 autor, na bazie cytowanej literatury, przedstawia teoretyczny opis 6 – składnikowego wymuszenia sejsmicznego. Ze względu na brak danych pomiarowych dotyczących rotacyjnych składników wymuszenia koniecznym jest wyznaczenie tych składników na podstawie pomierzonych składowych translacyjnych. W rozdziale omówiono sposób wyznaczenia tych rotacji przedstawiony przez Lee i Trifunaca (1987), w którym wykorzystuje się rozkład zapisów translacji podłoża na podstawowe rodzaje fal sejsmicznych. Omówiono również pracę Basu et al., (2012), w której opisano sposób otrzymywania dodatkowych składników wykorzystujący pomiary z jednej oraz z wielu stacji pomiarowych.

Rozdział 7 zawiera wyniki przeprowadzonych przez doktoranta analiz numerycznych wykonanych na modelach komina przemysłowego (160m) oraz modelu 20 i 30 piętrowego budynku. W przedstawionych testach badano wpływ składnika rotacyjnego na odpowiedź badanych modeli budowli. Wykonano analizy porównawcze rozważając oddzielne działanie składnika translacyjnego i rotacyjnego oraz jednoczesnego działania obu składników. W testach tych wykorzystano rzeczywiste zapisy wstrząsów górniczych zarejestrowanych na Górnym Śląsku. Rozdział kończy się krótkim podsumowaniem.

Rozdział 8 to podsumowanie przeprowadzonych w pracy analiz i wnioski. W rozdziale tym autor przedstawia również dalsze plany badawcze w zakresie przedstawionej w pracy tematyki badawczej.

### **3. Uwagi ogólne**

Tak jak wcześniej stwierdziłem rozważana w doktoracie tematyka jest ważna z punktu widzenia praktyki inżynierskiej i interesująca z punktu widzenia poznawczego. Jest ona również trudna, ponieważ dotyczy modeli z nieliniowościami fizycznymi i geometrycznymi. Oryginalnym elementem pracy są przeprowadzone przez doktoranta obszerne analizy numeryczne. Analizy te zostały wykonane bardzo starannie i wnikliwie. Wartym podkreślenia jest fakt, że do analiz tych, oprócz „komercyjnego” oprogramowania, doktorant używał oprogramowania napisanego przez siebie. Celem stworzenia tego oprogramowania było wykorzystanie go do weryfikacji poprawności wyników wyznaczonych z użyciem istniejącego oprogramowania „komercyjnego”. Chciałbym również zwrócić uwagę na obszerny przegląd literatury wykonany przez doktoranta.

Pewien niedosyt wzbudza we mnie nieuwzględnienie w analizach numerycznych „skręcającego” składnika wymuszenia sejsmicznego tj. tej części ruchu falowego podłoża, którą generują w gruncie np. poprzeczne fale SH (fale Love'a). Co prawda doktorant analizuje drgania skretne konstrukcji, wywołane przez translacyjne wymuszenie podłoża działające w kierunku prostopadłym do płaszczyzny pochylenia obiektu. Nie są to jednak drgania wywołane przez „skrętny” składnik drgań podłoża. Przypuszczam, że tematyka ta będzie rozwijana przez doktoranta w jego dalszej działalności naukowej. Praca pokazuje ponadto, że doktorant opanował metodologię stosowaną przy projektowaniu konstrukcji inżynierskich poddanych działaniu wymuszeń sejsmicznych i biegle posługuje się specjalistycznym oprogramowaniem wykorzystywanym w tym projektowaniu.

Recenzent chciałby, aby doktorant na publicznej obronie odpowiedział na następujące pytania:

1. Jak zostały wyznaczone akcelerogramy składnika rotacyjnego (rys. 66, str.106):  
Z zastosowaniem procedury przekształcającej translacyjne składniki wymuszenia sejsmicznego? Czy też z wykorzystaniem bardziej „bezpośrednich” metod?
2. Czasami doktorant używa oznaczenia P- $\Delta$  (np. str. 11, 36) i P-delta (str. 109). Czy te oznaczenia dotyczą tego samego efektu? W literaturze bowiem używa się oznaczeń P- $\Delta$  i P- $\delta$  do opisu podobnych, ale nie identycznych efektów,

oraz:

1. Przedstawił, jakie są długości fal (fal poprzecznych S) w gruntach typu A, B, C, D w zależności od okresu drgań.
2. Opisał bardziej szczegółowo metodę Basu et al. 2012, 2013, o której doktorant pisze m.in. na str. 63. Proszę również, aby bardziej szczegółowo opisał rys.49, str. 64.

#### 4. Uwagi szczegółowe

Przedstawione poniżej uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny i podano je celem udoskonalenia formy przyszłych prac doktoranta.

1. Str. 16, wzór (8); we wzorze tym, zamiast używanego wcześniej w równaniach (4)-(7) oznaczenia wektora współrzędnych uogólnionych  $\mathbf{q}$ , należałoby użyć innego oznaczenia np.  $\mathbf{z}$ . Wynika to z zastosowanej metody sprowadzania macierzy 123owych współczynników równań do postaci diagonalnej – metody transformacji własnej. W metodzie tej pierwszym zastosowanym przekształceniem jest podstawienie  $\mathbf{q} = \Phi \mathbf{z}$ . Ponieważ wzór (8) ma charakter poglądowy, „usterka” ta nie wpływa na dalsze rozważania.
2. Str. 23 rys. 7; błędnie zaznaczone na rysunku masy skupione (części rysunku „rozjechały” się).
3. Str.24, rys. 9; zwyczajowo przez  $W$  oznacza się przemieszczenia. Do oznaczenia ciężaru zastosowałbym raczej zamiast  $W$  oznaczenie  $G$ .
4. Na str. 33 doktorant napisał, że komin podzielono na 17 elementów skończonych, nie podając w tym miejscu żadnej dodatkowej informacji: np. jakiego typu są to elementy. Szczegółową informację możemy znaleźć dopiero w Dodatku A.
5. Str. 37, rys. 21 wydaje mi się niepotrzebny.

6. Str. 38, rys. 22, dla zwiększenia czytelności rysunku zmieniłbym „układ” legendy. Zamiast dwóch wierszy oznaczeń, umieściłbym w legendzie trzy wiersze :

----- ground C,  $\theta=0$     ----- ground C,  $\theta=100$   
----- fixed,  $\theta=0$         ----- fixed,  $\theta=100$   
----- fixed,  $\theta=0$ , NG    ----- fixed,  $\theta=100$ , NG

7. Str. 46, „nietypowy” układ współrzędnych na Rys.34 . *Wykres poziomych przemieszczeń wierzchołka budynku w funkcji wstępnego pochylenia*. Ponieważ przemieszczenia zależą od pochylenia, zamieniłbym miejscami oś pionową z poziomą.

8. Str. 50, rys.42; błąd w podpisie rysunku: jest „ścianie”, zamiast „ścianie”.

9. Str. 81, rys.63, razi mnie sformułowanie *Wykres ... sił ścinających po wysokości ...* .  
Proponuję *Wykres ... sił ścinających jako funkcja (lub w zależności od) wysokości ...*

10. Str. 106, nieczytelny i niespójny opis danych wejściowych wprowadzanych do programów SeismoStruc 2016 i SAP2000. Takie wielkości jak masa, moduł sprężystości to dane identyczne w obu programach, a z opisu wynika, że „dotyczą” tylko programu pierwszego. Czym różni się punkt 1c od 2a? W podpunkcie 1a doktorant używa określenia „masses”, a podana wielkość  $25 \text{ kN/m}^3$  dotyczy ciężaru.

11. Str. 109, w czwartej od góry linii tekstu jest: *In the figures REW- effect of ground rotations only*. Ponieważ na wskazanych rysunkach nie ma oznaczenia REW, przypuszczam, że w tym miejscu powinno zamiast REW być RNS.

## 5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska poświęcona jest aktualnemu, istotnemu z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, problemowi analizy drgań obiektów budowlanych wywołanych obciążeniem sejsmicznym. W pracy rozważano wpływ wstępnego pochylenia budowli oraz rotacyjnych składników wymuszenia sejsmicznego na odpowiedź analizowanych układów.

Doktorant dobrze sformułował cele i zakres pracy, przeprowadził szereg analiz numerycznych z wykorzystaniem „komercyjnego” i stworzonego przez siebie oprogramowania. W analizach tych doktorant stosował logiczną metodykę. Analizy te stanowią niezaprzeczalnie osiągnięcie Doktoranta.

Przytoczone krytyczne uwagi ogólne i szczegółowe minimalnie obniżają wartość ocenianej przeze mnie rozprawy, jednak w żadnym stopniu nie podważają osiągnięć autora.

W podsumowaniu chciałbym stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Adama Bońkowskiego pt. „Rotational effects for slender building structures under seismic excitations” (“Efekty rotacyjne smukłych konstrukcji budowlanych obciążonych sejsmicznie”) jest samodzielnym rozwiązaniem zadania naukowego i odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim, co zgodnie z *Ustawą „ O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z 2003 roku* wraz z późniejszymi zmianami, upoważnia mnie do postawienia wniosku o przyjęcie pracy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Piotr Bońkowski