

Gdańsk, dnia 30.04.2018

prof. dr hab. inż. Robert Jankowski, prof. zw. PG
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 mgra inż. Piotra Adama Bońkowskiego pt.

Rotational effects for slender building structures under seismic excitations

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania niniejszej recenzji pracy doktorskiej jest pismo Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej, prof. dra hab. inż. Zbigniewa Zembatego, prof. zw. PO, z dnia 19.02.2018 i dołączona do niego rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Adama Bońkowskiego pt. „*Rotational effects for slender building structures under seismic excitations*” („*Efekty rotacyjne smukłych konstrukcji budowlanych obciążonych sejsmicznie*”) wykonana pod kierunkiem promotora prof. dra hab. inż. Zbigniewa Zembatego, prof. zw. PO, oraz promotora pomocniczego dra inż. Macieja Yan Mincha.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca dotyczy analizy wpływu efektów rotacyjnych na odpowiedź sejsmiczną smukłych konstrukcji budowlanych. W rozprawie przeanalizowano zachowanie się dwóch rzeczywistych konstrukcji budowlanych: żelbetowego komina przemysłowego o wysokości 160 m oraz 30-piętrowego budynku o konstrukcji szkieletowej. Do analiz użyto modeli numerycznych konstrukcji przy wykorzystaniu metody elementów skończonych.

Praca zawiera 124 strony, 88 rysunków, 20 tablic, 54 ponumerowane wzory oraz 152 pozycje bibliografii. Napisana jest ona w języku angielskim i obejmuje: 9 numerowanych rozdziałów (w tym Rozdział 1: *Introduction*, Rozdział 8: *Final remarks and general conclusions* oraz Rozdział 9: *References*), streszczenie (w języku angielskim i w języku

polskim), spis treści, spis rysunków (w języku angielskim i w języku polskim), spis tabel (w języku angielskim i w języku polskim) oraz 5 załączników.

3. Treść pracy i uwagi krytyczne

3.1. Rozdział 1: „*Introduction*” (5 stron)

W rozdziale przedstawiono wprowadzenie do problematyki pracy, opisano przykłady smukłych i pochylonych konstrukcji budowlanych. Podano genezę i motywację związaną z podjęciem tego tematu. Określono też cel i zakres pracy doktorskiej.

3.2. Rozdział 2: „*Dynamic analysis of seismic response of building structures*” (4 strony)

Rozdział ten poświęcono na opis numerycznych podstaw dotyczących zastosowania metody odpowiedzi dynamicznej (*dynamic time history analysis*) wykorzystywanej do nieliniowych analiz odpowiedzi sejsmicznej konstrukcji budowlanych na zadane zapisy czasowe wymuszeń dynamicznych działających podczas trzęsień ziemi.

3.3. Rozdział 3: „*Literature review of seismic effects on leaning slender structures*” (4 strony)

W rozdziale, na tle odwołania się do literatury, nakreślono obszar badań dotyczący tematu wpływu efektów rotacyjnych na odpowiedź dynamiczną smukłych konstrukcji budowlanych podczas trzęsień ziemi. Przedstawiony przegląd literaturowy zawiera zarówno pozycje z zakresu smukłych konstrukcji wymuszonych sejsmicznie jak i smukłych budowli pochylonych.

Uwagi

- W kilku miejscach pojawiły się drobne błędy językowe, np. ‘... *inclination dido not significantly change ...*’ zamiast ‘... *inclination did not significantly change ...*’ (strona 20).

3.4. Rozdział 4: „*Interaction of static, initial leaning with seismic response of slender structures*” (33 strony)

W rozdziale przedstawiono sformułowanie problemu pochylonych budowli poddanych wymuszeniu sejsmicznemu. Pokazano przykłady wstępnego pochylenia konstrukcji

wynikające z ich nierównomiernego osiadania, szkód górniczych lub celowego zaprojektowania jako konstrukcje pochylone. Opisano ponadto wybrane polskie zalecenia techniczne związane z projektowaniem obiektów na terenach górniczych, a także niektóre punkty norm europejskich. Przedstawiono również wyniki parametrycznych, nieliniowych analiz sejsmicznych wstępnie pochylonych wysokich konstrukcji komina i budynku.

Uwagi

- na stronie 33 podano, iż model numeryczny komina podzielono na 17 elementów skończonych. Czy tak mała liczba elementów skończonych umożliwiła uzyskanie dokładnych wyników odpowiedzi komina? Czy przeprowadzono analizę błędów obliczeniowych oraz czasu obliczeń dla kolejnych etapów zagęszczania siatki modelu? Ponadto, dlaczego założono w tym przypadku pełne utwierdzenie konstrukcji do podłoża gruntowego?
- Na stronie 22 Autor opisuje przyczyny związane z możliwością wystąpienia pochylenia konstrukcji budowlanych. Brakuje jednak w tym miejscu pracy informacji o jeszcze dwóch zjawiskach, które mogą doprowadzić do trwałego pochylenia się budowli na skutek działania trzęsienia ziemi. Jednym z nich jest upłynnienie gruntu (*soil liquefaction*), drugim zaś jest zjawisko zderzania się konstrukcji pomiędzy sobą (*structural pounding*).
- Na Rysunku 36 i 37 (strona 47 i 48) opis osi pionowej powinien brzmieć: '*Tip displacement [m]*' zamiast '*Tip displacement [-]*'.
- W tym i w kolejnych rozdziałach pracy brak jest konsekwencji w stosowaniu jednej odmiany języka angielskiego (brytyjskiej lub amerykańskiej). W wielu miejscach używa się bowiem zamiennie, np. '*storey*' (wersja brytyjska) i '*story*' (wersja amerykańska).
- W tym i w kolejnych rozdziałach pracy, w opisach osi w przypadku niektórych rysunków, Autor stosuje przecinek zamiast kropki do oddzielania części całkowitej od części ułamkowej liczb, co nie jest zgodne z zapisem w języku angielskim.
- W kilku miejscach pojawiły się drobne błędy językowe, np. '*... subjected ground dynamics ...*' zamiast '*... subjected to ground dynamics ...*' (strona 28), '*(a) betony*' zamiast '*(a) betonu*' (strona 34, podpis pod Rysunkiem 18), '*vs czas*' zamiast '*w funkcji czasu*' (strona 38, podpis pod Rysunkiem 22), '*... both analysed structure have ...*' zamiast '*... both analysed structures have ...*' (strona 53).

3.5. Rozdział 5: „Literature survey of an effect of rotational excitations on seismic response of structures” (6 stron)

Rozdział stanowi przegląd literaturowy z zakresu wpływu składników rotacyjnych trzęsień ziemi na drgania budowli. Omówiono publikacje dotyczące pierwszych historycznych obserwacji efektów rotacyjnych, wczesnych teoretycznych analiz związanych z otrzymywaniem składników rotacyjnych i ich efektów na budowle, a także najnowszych badań z tego zakresu.

Uwagi

- Na stronie 56 Autor podaje przyczyny związane z możliwością wystąpienia drgań skrętnych konstrukcji budowlanych podczas trzęsienia ziemi. Brakuje jednak w tym miejscu pracy informacji o możliwości wystąpienia drgań skrętnych na skutek niesymetrycznego przekroju poprzecznego konstrukcji.
- Brakuje konsekwencji w sposobie cytowania pozycji literatury. W większości przypadków podawane jest nazwisko autora (bądź nazwiska autorów) bez podawania inicjałów imion, co uznać należy za prawidłowe. W kilku jednak przypadkach inicjały imion autora zostały jednak podane, np. ‘*W. H. K. Lee et al., 2009*’ (strona 58).
- W kilku miejscach pojawiły się drobne błędy językowe, np. ‘... one of the firsts attempts ...’ zamiast ‘... one of the first attempts ...’ (strona 56), ‘... one of the first instrument ...’ zamiast ‘... one of the first instruments ...’ (strona 57), ‘All six motions ... has been done ...’ zamiast ‘All six motions ... have been done ...’ (strona 57), ‘... approximation of rotations are strongly dependent ...’ zamiast ‘... approximation of rotations is strongly dependent ...’ (strona 59), ‘... ground motion can introduces errors ...’ zamiast ‘... ground motion can introduce errors ...’ (strona 59).

3.6. Rozdział 6: „Modelling and acquiring rotational ground motions components” (4 strony)

Rozdział ten zawiera wprowadzenie teoretyczne do 6-składnikowego wymuszenia sejsmicznego. Omówiono sposób wyprowadzenia składników rotacyjnych będących podstawą do otrzymania zapisów rotacyjnych trzęsień ziemi przy użyciu rozkładu zapisów translacyjnych, a także sposób otrzymywania dodatkowych składników przy użyciu pomiarów z jednej lub wielu stacji pomiarowych.

Uwagi

- Na stronie 61 podane jest odwołanie do Rozdziału 0, którego nie ma w pracy.
- Odwołanie do Rysunku 50 (strona 61) następuje przed odwołaniem do Rysunków 46-49.

3.7. Rozdział 7: „*Influence of translational-rotational seismic excitations on slender structures*” (18 stron)

W rozdziale przedstawiono wyniki analiz numerycznych dla żelbetowego komina przemysłowego o wysokości 160 m, a także dla 30 i 20 piętrowych budynków poddanych wymuszeniu przez jednoczesne oddziaływanie składnika translacyjnego i rotacyjnego. W analizie wykorzystano rzeczywiste zapisy średnio intensywnych wstrząsów górniczych zarejestrowanych na Górnym Śląsku.

Uwagi

- W kilku miejscach pojawiły się drobne błędy językowe, np. ‘... *two components ... is compared ...*’ zamiast ‘... *two components ... are compared ...*’ (strona 68), ‘*Odpowiedź time-history ...*’ zamiast ‘*Przebieg czasowy odpowiedzi ...*’ (strona 68 i 69, podpis pod Rysunkiem 52 i 53), ‘*Przemieszczeń wierzchołka ...*’ zamiast ‘*Przemieszczenia wierzchołka ...*’ (strona 70, tytuł Tabeli 9)

3.8. Rozdział 8: „*Final remarks and general conclusions*” (2 strony)

W rozdziale zestawiono najważniejsze wnioski końcowe rozprawy doktorskiej oraz wskazano dalsze kierunki badań.

3.9. Rozdział 9: „*References*” (7 stron)

Przedstawiono spis cytowanej literatury uporządkowanej alfabetycznie zawierającej 152 pozycje. Literatura dobrze nawiązuje do problematyki poruszanej w pracy. Dotyczy ona głównie zagadnień związanych z inżynierią sejsmiczną, w tym szczególnie z aspektami rotacyjnych składowych trzęsień ziemi.

Uwagi

- Pewne zastrzeżenia może budzić fakt ujęcia w podstawowym spisie literatury, wraz z artykułami i książkami naukowymi, stron internetowych (np. *Wikipedia*) oraz pozycji normowych. Lepszym rozwiązaniem wydaje się ujęcie tych pozycji w oddzielnym zestawieniu opisanym np. jako „*Materiały uzupełniające, strony internetowe i normy*”.

3.10. Załączniki (22 strony)

W załącznikach przedstawiono: dane analizowanych modeli (załączniki A.1-A.3), porównanie programów służących do obliczeń oddziaływania składnika rotacyjnego na konstrukcje (załącznik A.1.1), przykład otrzymania składników rotacyjnych według procedury SSP wg Basu (załącznik B) i dane wykorzystywanych zapisów wstrząsów górniczych (załącznik C).

Uwagi

- Na stronie 119 podano, iż krok czasowy przebiegu czasowego trzęsienia ziemi El Centro wykorzystanego w analizach wynosił 0,2 s. Czym było podyktowane przyjęcie tak dużej wartości, zważywszy, że standardowy krok czasowy przyjmowany zwykle do analiz wynosi 0,01 s lub 0,02 s.
- W kilku miejscach pojawiły się drobne błędy językowe, np. ‘*Zapis składnika translacyjnego ...*’ zamiast ‘*Zapis przebiegu czasowego składowej translacyjnej ...*’ (strona 105, opis do Rysunku 65), ‘*Zapis składnika rotacyjnego ...*’ zamiast ‘*Zapis przebiegu czasowego składowej rotacyjnej ...*’ (strona 106, opis do Rysunku 66 i 67)

4. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnego i ważnego (z praktycznego punktu widzenia) problemu, jakim jest wpływ efektów rotacyjnych na odpowiedź smukłych konstrukcji budowlanych poddanych obciążeniom sejsmicznym. Obroty podłoża budowli można podzielić na dwa rodzaje – statyczne, odpowiedzialne za pochylenie się konstrukcji i szybko zmienne w czasie wynikające głównie z sejsmicznych zjawisk falowych na powierzchni gruntu. Przedmiotem niniejszej rozprawy jest analiza wpływu obu tych zjawisk na smukłe, wysokie budowle. Autor rozprawy dokonał wnikliwej analizy odpowiedzi dla

dwóch budowli tego typu (żelbetowy komin przemysłowy o wysokości 160 m oraz 30-piętrowy budynek o konstrukcji szkieletowej). Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, iż Autor rozprawy kompleksowo przeanalizował wpływ obu możliwych rodzajów obrotów podłoża. Efekty statyczne (rzeczywiste pochylenie budowli, w tym również w formie wysunięcia jej wyższych części poza obrys rzutu) wprowadzają dodatkowe mimośrodowe masy i niesymetryczny rozkład naprężeń. W rozprawie pokazano, iż wraz z efektami drugiego rzędu mogą one całkowicie zmienić sejsmiczną odpowiedź konstrukcji. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano jednocześnie bardzo ważny wniosek, iż składowe rotacyjne trzęsienia ziemi mogą mieć istotny wpływ na zachowanie się smukłych konstrukcji budowlanych podczas trzęsień ziemi prowadząc zarówno do zwiększenia jak i zmniejszenia odpowiedzi konstrukcji, w zależności od interakcji z innymi składowymi oraz w zależności typu budowli.

Mimo, że rotacje sejsmiczne podłoża były badane już na początku drugiej połowy XX wieku, dopiero ostatnie publikacje specjalnych wydań czasopism *Bulletin of the Seismological Society of America* w 2009 r. i *Journal of Seismology* w 2012 r., wraz z niedawnym rozwojem technologii czujników rotacyjnych wskazały na szczególną intensyfikację badań w tym obszarze do tego stopnia, że został on ogłoszony jako nowa gałąź badań. Z tego punktu widzenia recenzowaną rozprawę doktorską należy ocenić wysoko, gdyż dotyczy ona problematyki bardzo aktualnej, szczegółowo analizowanej w wybranych ośrodkach badawczych na świecie. Warty podkreślenia jest jednocześnie fakt, iż część wyników umieszczonych w pracy zostało opublikowanych w recenzowanych międzynarodowych czasopismach naukowych ogólnodostępnych dla środowiska naukowego.

Na podkreślenie zasługuje również fakt, iż praca napisana została poprawnie pod względem językowym (w języku angielskim), a kilka wskazanych w niniejszej recenzji błędów językowych nie umniejsza pozytywnej opinii recenzenta w tym zakresie.

Na stronie 11 rozprawy, Autor zestawił najbardziej oryginalne (jego zdaniem) elementy pracy, tj.:

- a) przeprowadzenie szczegółowych analiz numerycznych zachowania się dwóch smukłych, wstępnie pochylonych konstrukcji budowlanych poddanych oddziaływaniom sejsmicznym,
- b) przeprowadzenie zaawansowanej analizy numerycznej dotyczącej wpływu składowych rotacyjnych trzęsienia ziemi na odpowiedź smukłych konstrukcji budowlanych,

- c) przeprowadzenie numerycznych analiz parametrycznych odpowiedzi sejsmicznej żelbetowego komina przemysłowego na skutek działania trzęsienia ziemi zdefiniowanego poprzez składowe translacyjne i rotacyjne,

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, mgra inż. Piotra Adama Bońkowskiego, zagadnień związanych z problemem wpływu efektów rotacyjnych na odpowiedź sejsmiczną smukłych konstrukcji budowlanych. 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. Piotra Adama Bońkowskiego do publicznej obrony pracy.

R. Janowski