

Prof. dr hab. inż. Piotr Konderla
Instytut Inżynierii Lądowej
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej



RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Dawida Mrozka
pt. „Nieliniowa analiza numeryczna dynamicznej odpowiedzi uszkodzonych
budynków”

1. Podstawa formalna

Recenzja została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej pismem z dnia 18 marca 2010 r.

2. Treść i zakres pracy

Praca doktorska w formie maszynopisu zawarta jest na 160 stronach i składa się z 6-ciu rozdziałów oraz bibliografii zawierającej 207 pozycji literatury.

Przedmiotem badań Autora dysertacji doktorskiej są budowle kubaturowe murowane charakteryzujące się uszkodzeniami konstrukcyjnymi powstałymi we wcześniejszym okresie eksploatacji. W rozdziale 1 pracy sformułowane są cele pracy ujęte w 8-miu punktach, które można traktować domyślnie jako tezy pracy. Generalnie Doktorat starał się wykazać, że zbudowany przez niego model procesu dynamicznego zachowania się szerokiej klasy konstrukcji murowych z uszkodzeniami poprawnie, z punktu widzenia inżynierskiego, opisuje zachowanie się konstrukcji pod obciążeniem dynamicznym, w szczególności pod obciążeniem sejsmicznym lub parasejsmicznym. W takim ujęciu praca ma charakter teoretyczny z wyraźnym ukierunkowaniem na zastosowania inżynierskie.

W rozdziale 2 Autor szeroko omawia stan wiedzy związanej z zagadnieniami będącymi przedmiotem badań koncentrując się na następujących wybranych istotnych kwestiach:

- stosowane metody dynamicznej analizy konstrukcji poczynając od inżynierskiej metody współczynnika sejsmiczności a kończąc na analizie procesu dynamicznego konstrukcji dla zadanego zmiennego w czasie obciążenia dynamicznego,
- problem modelowania analizowanych budowli w aspekcie geometrycznym, w szczególności modelowania nieciągłości kontinuum materialnego,
- problem modelowania procesu obciążenia sejsmicznego a w szczególności modelowania interakcji pomiędzy podłożem a budowlą,
- modelowanie procesu propagacji uszkodzeń,
- systematyka klas uszkodzeń budowli murowanych oraz przyczyn powodujących te uszkodzenia.

Rozdział 3 poświęcony jest opisowi nieliniowych modeli materiałów stosowane w analizie dynamicznej kubaturowych konstrukcji budowlanych. Treść tego rozdziału ma formę za-

mnętego kompendium wiedzy zawierający podstawowe terminy, klasyfikacje modeli materiału poczynając od modeli klasycznych typu Hubera-Misesa-Henckego, poprzez modele typu Coulomba do zaawansowanych wieloparametrowych modeli sprężysto-plastyczno-degradacyjnych stosowanych do modelowania materiałów kruchych i niejednorodnych takich jak beton i mur ceglany. W opisie modeli najwięcej uwagi poświęcono Modelowi Barcelony, który był stosowany w dalszej części pracy doktorskiej.

W kolejny rozdział 4 poświęcony jest zagadnieniu doboru reprezentatywnych:

- modeli konstrukcji murowych,
- modeli reprezentatywnego obciążenia sejsmicznego wraz z warunkami brzegowymi definiującymi redystrybucje obciążenia kinematycznego na konstrukcje,
- modeli typowych uszkodzeń konstrukcji.

W zakresie modeli konstrukcji Doktorant wyróżnił trzy klasy obiektów z uwagi na proporcje charakterystycznych wymiarów: budynki niskie, szerokie i wysokie. Obiekty te są analizowane jako obiekty przestrzenne i ekwiwalentne obiekty płaskie. W pracy dużo uwagi poświęcono dyskusji doboru modelu płaskiego, którego odpowiedź na obciążenia dynamiczne byłaby ekwiwalentna modelowi 3D.

Rozdział 5 zawiera wyniki analizy dynamicznej modeli budynków murowych. Porównywano odpowiedzi dynamiczne konstrukcji uszkodzonych w stosunku do odpowiedzi dynamicznych konstrukcji nieuszkodzonych. Jako miary wpływu uszkodzenia na pracę konstrukcji przyjęto pierwszą częstość drgań własnych konstrukcji oraz globalny kąt odkształcenia postaciowego elementu ściennego.

Rozdział 6 jest podsumowaniem pracy doktorskiej. Zawiera dosyć ogólne wnioski oraz nakreślone są kierunki dalszych badań.

Zamieszczona w pracy bibliografia jest obszerna i wyczerpująca.

3. Uwagi ogólne i dyskusyjne

- 1) Podjęty w pracy temat jest z jednej strony ciekawym zagadnieniem z punktu widzenia poznawczego, jednocześnie dotyczy aktualnego i ważnego problemu inżynierskiego. Zagadnienie jest złożone i wielowątkowe, tak więc wykonane w ramach pracy doktorskiej badanie należy traktować jako logiczną kontynuację wcześniejszych prac z tego zakresu a jednocześnie wyniki tych badań stanowią dogodny punkt wyjścia do dalszych badań. Powyższy pogląd wyraża również Autor w podsumowaniu pracy.

Praca o charakterze teoretycznym jest ukierunkowana na rozwiązanie konkretnego problemu inżynierskiego, przy czym nie obserwuje się pełnej symetrii pomiędzy dwoma aspektami badań. Badania o charakterze teoretycznym są w pracy dominujące i w tym zakresie Doktorant otrzymał interesujące wyniki, natomiast w zakresie aplikacyjnym zostały nakreślone możliwości praktycznego wykorzystania wyników badań teoretycznych.

- 2) Opis stanu wiedzy na podstawie dostępnej literatury obejmuje znaczne fragmenty tekstu doktoratu obejmujący część rozdziału 1 - p. 1.3., rozdział 2 i prawie cały rozdział 3. W mojej opinii ta część doktoratu jest nadmiernie rozbudowana - przypomina ona skrócony konspekt wykładu obejmujący szeroki wachlarz zagadnień, w którym nawiązuje się do szeregu niepowiązanych ze sobą szczegółowych rozwiązań do których w większości nie dalszych odwołań. Szereg zamieszczonych informacji mieści się w standardowym zakresie wiedzy osób zajmujących się mechanika konstrukcji. Takie ujęcie problemu jest właściwe w pracy przeglądowej.

W doktoracie przegląd literatury powinien w zasadzie określać punkt wyjścia badań podjętych w doktoracie i jednocześnie pośrednio uzasadniać celowość podjęcia tych badań.

- 3) W doktoracie dużo uwagi poświęca się doborze modelu materiału korzystając z dostępnej, aktualnej literatury przedmiotu. Doktorant słusznie zauważa, że od właściwego doboru modelu zależy w dużej mierze jakość i wiarygodność rozwiązania. Wybór Modelu Barcelony uważam za słuszny i optymalny mimo moich osobistych wątpliwości co do pełnej skuteczności opisu zachowania się przez ten model tak niejednorodnego materiału jakim jest mur ceglany. Przy wyborze modelu materiału Doktorant w dużym stopniu poślikował się wynikami badań zamieszczonych w doktoracie A.Cińcio.
- 4) Rozdział 4 i 5 zawierają wyniki oryginalnych badań naukowych doktoranta. Z uwagi na to, że przedmiotem rozważań była bardzo zróżnicowana klasa budynków jak również możliwy był szeroki wybór samych zagadnień badawczych, Doktorant musiał dokonać selekcji, ograniczając zakres przedmiotu badań jak również skupiając swoją uwagę na kilku wybranych problemach badawczych. W mojej opinii, biorąc pod uwagę inżynierskie zastosowania wyników badań, wybór klas budynków będących przedmiotem badań jest właściwy. Skupienie uwagi na trzech klasach budynków murowanych: budynki niskie, szerokie i średnie z pewnością nie wyczerpuje całej populacji ale jednocześnie stanowią one pewną statystyczną reprezentację. Dodatkowymi parametrami tych klas był rodzaj i stopień uszkodzenia konstrukcji. Jedynym zagadnieniem, które było podjęte w pracy to szeroko rozumiana analiza dynamiczna konstrukcji pod wpływem obciążeń kinematycznych modelujących oddziaływanie sejsmiczne.
- 5) Obciążenie dynamiczne jest przykładane do sztywnego podłoża, a na konstrukcje przekazywane jest pośrednio poprzez jednostronne więzi lepko-sprężyste, które łączą sztywne podłoże z konstrukcją. Taki model przekazywania obciążenia ma wiele zalet, jednakże wymaga doboru szeregu parametrów istotnie wpływających na redystrybucję obciążenia. W pracy brak jest analitycznego zapisu pracy więzi - jest to o tyle istotne, że model jest nieliniowy i wieloparametrowy. Autor uzasadnia konieczność przyjęcia tej klasy modelu, co mnie przekonuje, natomiast nie jestem do końca przekonany, czy musi to być model o tak dużej liczbie parametrów, których wartości liczbowe trudno później racjonalnie dobrać.
- 6) Kolejnym istotnym uproszczeniem analizy dynamicznej konstrukcji było zastąpienie zagadnienia przestrzennego 3D ekwiwalentnym zagadnieniem dwuwymiarowym 2D o geometrii ściany podłużnej budynku. Ekwiwalentność modeli 3D i 2D sprowadzała się do spełnienia dwóch warunków: zgodności charakterystycznego przemieszczenia pionowego od obciążeń statycznych i zgodności pierwszej częstości drgań własnych modeli. W celu spełnienia powyższych warunków Autor dobierał numerycznie dwa parametry modelu 2D metodą przeszukiwania, są nimi: względny udział poprzecznych elementów konstrukcyjnych w stosunku do analizowanej ściany oraz proporcje parametrów sztywności podłoża ekwiwalentnych modeli.

Nie negując zasadności przejścia z modelu 3D na 2D pozostaje otwarty problem czy właściwie zostały dobrane warunki ekwiwalentności. Zgodność zachowania się modeli w jednym kontekście nie zapewnia automatycznej zgodności w innych kontekstach. W pracy nie podjęto bezpośredniej dyskusji tego problemu, który jest ważny i w mojej opinii nie ma jednoznacznego rozwiązania. Z punktu widzenia zastosowań inżynierskich, problem ekwiwalentności modeli należałoby powiązać z ekwiwalentnością miar wyężenia

konstrukcji. W pewnym zakresie porównywanie stanów naprężenia w ekwiwalentnych modelach w p.4.4.3 można by uznać za taką próbę.

W kontekście doboru parametrów modelu 2D, którym jednym z nich jest iloraz sztywności $K(2D)/K(3D)$, można postawić pytanie: dlaczego wybrano akurat ten jeden parametr, kiedy więź definiowana jest kilkoma parametrami: c , c_0 , μ_0 , f ? Czy pozostałe parametry są takie same w modelach 2D i 3D?

- 7) Zdefiniowanie miary wyężenia muru jako globalnego kąta odkształcenia postaciowego jest w mojej opinii racjonalne. Jest to miara globalna, dotyczy dużego fragmentu konstrukcji, ma jednoznaczną definicję. Jako miara inżynierska można związać ją ze stosowanymi hipotezami wytrzymałościowymi lub warunkami granicznymi w postaci przytoczonej w pracy $\Theta_{sd} \leq \Theta_{adm}$, przy formułowaniu których zakłada się, że po przekroczeniu wartości dopuszczalnej Θ_{adm} następuje rozwój procesów degradacyjnych w konstrukcji. W mojej opinii jest pewna słabość założenia, że relacja $\Theta_{sd} > \Theta_{adm}$ pociąga za sobą automatycznie inicjację procesu degradacji materiału. Na degradację materiału mają wpływ parametry modelu BM, które formalnie są niezależne od wartości granicznej Θ_{adm} . Jak w takim razie w analizach otrzymano "zgodność oddziaływania" tych niezależnych parametrów, jak można racjonalnie wytłumaczyć w p.5.2.2 fakt, że dla $\Theta_{sd} = \Theta_{adm}$ został uruchomiony mechanizm degradacji?
- 8) W celu porównania wrażliwości konstrukcji z uszkodzeniami i bez uszkodzeń na degradację materiału, Doktorant wprowadza dodatkową miarę θ zdefiniowaną związkiem (5-3). Wprowadzona miara pozwoliła na wykazaniu wyraźnych powiązań pomiędzy tą miarą a względną zmianą częstości drgań własnych konstrukcji zarysowanych w stosunku do konstrukcji bez uszkodzeń. W pracy nie wskazuje się wyraźnie, jak te skądinąd interesujące ilościowe rezultaty wykorzystać w praktyce inżynierskiej.

4. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Poniżej wymienionych jest kilka uwag szczegółowych o charakterze merytorycznym.

- ◆ Niezbyt precyzyjnie używa się niektórych podstawowych pojęć:
 - a) Przy opisie fal sejsmicznych używa się w kilku miejscach sformułowania: "*fala porusza się w kierunku prostopadłym do powierzchni ziemi ...*", "*fala przemieszcza się prostopadle do kierunku propagacji fali ...*". Mówiąc o przemieszczeniu się fali mówimy zwykle o kierunku propagacji fali, natomiast z ruchem falowym związane są drgania cząstek ośrodka wokół położenia równowagi o kierunku zgodnym lub prostopadłym do kierunku propagacji co jest ujęte w rozbudowanej nazwie fali, np. fala podłużna, fala poprzeczna.
 - b) Dość swobodnie operuje się pojęciem "*siły bezwładności*". W pracach teoretycznych z mechaniki budowli należałoby to pojęcie używać bardziej precyzyjnie. Siła bezwładności jest siłą fikcyjną, której genezą jest konieczność spełnienia I prawa Newtona w układach nieinercyjnych. Czytając doktorat odnosi się wrażenie, że Autor traktuje pojęciowo siłę bezwładności jako siłę czynną. Siłę bezwładności należy formalnie wiązać z masą ciała a nie z ciężarem ciała, jak to jest przedstawione w doktoracie.
 - c) W p. 2.3. określa się "*budowę modelu numerycznego*" jako poszukiwanie optymalnego rozwiązania pod względem dokładności, czasu trwania i poziomu uzyskanego rozwiązania. Takie rozumienie pojęcia modelu numerycznego jest formalnie niepoprawne i dalekie od precyzji wypowiedzi oczekiwanej w doktoracie. Model numeryczny jest

"rzutem" modelu fizycznego (matematycznego) konstrukcji na przestrzeń skończone wymiarową i jest zwykle związany z wyborem numerycznej metody. Od doboru tej przestrzeni zależy jakość rozwiązania jak również inne cechy rozwiązania numerycznego.

- ◆ W pracy dużo miejsca poświęca się opisowi modeli 2D i 3D, jednakże brak jest schematów statycznych tych modeli. Doktorant powinien mieć na uwadze, że często jeden dobry rysunek zastępuje kilka stron tekstu.
- ◆ Zastrzeżenia budzą użyte jednostki współczynnika sprężystości modelu Winklera podłoża gruntowego. Błędnie użyto tych jednostek na str.28, str.94 i str.95. Generalnie problem ten wymaga uporządkowania. Należy się domyślić, że w analizach 2D i 3D Autor stosował liniowe podpory, a w takim razie wartości K_w w rozdziale 4.4 mają wymiar MN/m^2 a nie MPa/m^2 . Wyjaśnienia również wymaga, dlaczego w oryginalnych modelach 3D przyjmowano $K=15 MN/m^2$, jeżeli na str. 75 podane jest, że z uwagi na warunki geologiczno-gruntowe podatność podłoża przyjęto w przedziale $C_0=60-200MN/m^3$ co przy szerokości ławy fundamentowej 0,7m daje $K=42-140MN/m^2$?
- ◆ W p.4.2.2 jest niespójny opis obciążenia dynamicznego. Na wstępie definiuje się trzy warianty obciążeń dynamicznych stosowane w analizach dynamicznych po czym na zakończenie punktu ogranicza się rozważania do najprostszego harmonicznego obciążenia, które jednocześnie nie ma bezpośredniego sprzężenia z rzeczywistymi obciążeniami sejsmicznymi. W przypadku czysto akademickich rozważań nie ma to znaczenia, natomiast w przypadku, kiedy analizy mają modelować rzeczywiste procesy, a taki pogląd reprezentuje doktorant, stosowane obciążenie powinny nawiązywać do obciążeń rzeczywistych.
- ◆ W p. 3.4.1 charakteryzuje się element skończone powłokowe jako elementy, które mają liniowe funkcje kształtu co jest oczywistym błędem.
- ◆ W p. 5.1. analizowano wpływ gęstości modelu dyskretnego, którego miarą jest wymiar elementu skończonego, na wartość pierwszej częstości drgań własnych. Na rys. 5-3 oś pozioma jest błędnie opisana.

Praca zawiera szereg błędów stylistycznych i terminologicznych. W doktoracie używa się potocznych, nieprecyzyjnych określeń i terminów, co często może prowadzić do błędnych interpretacji. Poniżej przytaczam kilka wybranych przykładów, podobnych w tekście jest znacznie więcej:

- ◆ str.87, w8 od dołu: jest "*... zwielokrotniona obszerność zadania ...*", powinno być "*... zwielokrotniony rozmiar zadania ...*"
- ◆ str.27: "*Praca [51] zawiera analizy dynamiczne budynków niskich, gdzie ich modele geometryczne uwzględniały liniowo-sprężystą lub plastyczno-degradacyjną charakterystykę materiału.*" Praca może zawierać wyniki analiz a nie analizy; modele geometryczne i modele materiału są pojęciami równorzędnymi - łącznik "*uwzględniały*" nie jest poprawny.
- ◆ str.144: cały akapit "*Podsumowując wyniki analiz ... uszkodzeń pierwotnych jest niewielki.*" jest stylistycznie niepoprawny, w szczególności:
"*... stworzono na Rys.5-39 przebiegi θ ...*" powinno być "*... pokazano na Rys.5-39 funkcję θ ...*";
"*Przebiegi stanowią relację spadku pierwszej wartości częstości drgań własnych MBU do wartości θ .*" - to zdanie jest niezrozumiałe i może mieć kilka interpretacji;
w podobnym stylu cały akapit.

5. Ocena pracy doktorskiej

W pracy doktorskiej podjęto ważny problem inżynierski jakim jest opis zachowania się konstrukcji murowych poddanych obciążeniom sejsmicznym oraz parasejsmicznym. Te ostatnie spotyka się dosyć często na terenie Polski. W mojej opinii cel pracy został osiągnięty na poziomie zakreślonym przez Doktoranta, który swoje badania określał jako wprowadzenie do analizy dynamicznej budynków uszkodzonych. Precyzyjniej to ujmując można stwierdzić, że w pracy doktorskiej zostały sformułowane podstawy teoretyczne oraz zaproponowane podstawowe narzędzia numeryczne pozwalające na wykonanie przedmiotowych badań na szerszą skalę. Cechą charakterystyczną wykonanych w ramach doktoratu badań jest ich otwartość inspirująca dalszą ich kontynuację.

Pod względem merytorycznym pracę oceniam pozytywnie. Sformułowanie problemu, sformułowanie metod rozwiązania zagadnienia oraz uzyskane wyniki w mojej opinii są poprawne. Same wnioski nie są zbyt daleko idące co racjonalnie oddaje skalę wyników badań.

Pod względem redakcyjnym praca ma szereg mankamentów. Fragmenty pracy będące odwołaniami do wiedzy literaturowej są w mojej opinii nadmiernie rozbudowane. Autor często używa nieprecyzyjnych potocznych terminów i zwrotów, czego próbki podane były wcześniej. Wady redakcyjne pracy utrudniają lekturę pracy.

Do oryginalnych elementów pracy zaliczyć można:

- zbudowanie oryginalnych klas modeli budynków z uszkodzeniami w zakresie geometrycznych i materiałowym,
- sformułowanie algorytmu doboru modeli dwuwymiarowych ekwiwalentnych z modelami przestrzennymi,
- sformułowanie oryginalnych i racjonalnych miar pozwalających na ocenę wpływu uszkodzeń budynków na ich zachowanie się przy obciążeniach sejsmicznym lub parasejsmicznym,
- opracowanie syntetyczne wyników analiz konstrukcji poddanych obciążeniom symulującym obciążenia sejsmiczne, co pozwala w pewnym zakresie na sformułowanie ogólnych, praktycznych wniosków z punktu widzenia praktyki inżynierskiej.

Na uwagę zasługuje również fakt, że doktorant ma już znaczny dorobek publikacyjny obejmujący co najmniej 10 pozycji zawartych w bibliografii pracy doktorskiej.

W podsumowaniu uważam, że mgr inż. Dawid Mrozek wykonując pracę doktorską samodzielnie rozwiązał problem naukowy będący oryginalnym rozwiązaniem autora oraz wykazał się umiejętnościami rozwiązywania problemów naukowych, co w myśl Ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z roku 2003, upoważnia mnie do postawienia wniosku przyjęcia pracy doktorskiej oraz dopuszczenia jej do publicznej obrony.

