

Dr hab. Ewaryst Wierzbicki  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, SGGW,  
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa  
tel.: 602577049, e-mail: ewaryst\_wierzbicki@sggw.pl

Warszawa, 12.09.2016r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Marcza  
pt.: Modelling of dynamic problems of periodic three-layered structures

*Podstawa opracowania:* 1. Powołanie na recenzenta przez Radę Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej w piśmie Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska PŁ – prof. dr. hab. inż. Dariusza Gawina, 2. Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595, z późn. zm.) – w szczególności art.13. tej ustawy.

### I. Opis pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Jakuba Marcza dotyczy zagadnienia drgań własnych trójwarstwowej liniowo-sprężystej płyty sandwiczowej. Ta tematyka badawcza mieści się w zakresie współczesnych kierunków badań dynamiki periodycznie niejednorodnych płyt kompozytowych. Płyty takie krótko opisano w rozdziale trzecim analizując dwa typy rdzenia, pierwszy typu Winklera, drugi typu Murakami. Następne dwa rozdziały, czwarty i piąty, zawierają opis tolerancyjnego modelowania takich płyt. Szósty rozdział to przejście graniczne do przypadku traktowanego jako przypadek szczególny otrzymanego modelu. Nazwano go asymptotyczno-tolerancyjnym modelem trójwarstwowych płyt sandwiczowych. Ale przypadki szczególne są różne. Zauważenie istnienia tego szczególnego przypadku dowodzi, że uśrednianie opisu zjawisk ściśle związanych z periodyczną geometrią kompozytu nie jest tylko upraszczającą procedurą, ale odgrywa rolę tej geometrii w kształtowaniu pozornie nie związanych z nią jego własności widmowych. A jednak, jak wykazuje praca, są one ze sobą powiązane. Periodyczna struktura kompozytu wyraźnie systematyzuje najniższe częstotliwości drgań własnych kompozytu. Fakt ten powinien być, jak się wydaje, ściśle związany z tezą przedstawianej rozprawy. Siódmy rozdział poświęcono właśnie analizie drgań własnych. Druga połowa tego rozdziału, zawiera stabelaryzowane wyniki numeryczne dla typowo dobieranych w takim przypadku, kosinusowych tolerancyjnych funkcji kształtu i wyspecyfikowanych wartości parametrów fizycznych wyznaczających współczynniki. W pracy umieszczono wykresy ilustrujące zachowanie się częstotliwości drgań własnych. Wszystkie te wykresy wykazują polaryzację dolnych częstotliwości drgań. Ciekawy jest problem, czy może istnieć inna przyczyna tej polaryzacji? Może Doktorant zadawał sobie to pytanie podczas pisania pracy?

Całość pracy poprzedzona jest Wstępem i zakończona dwuczęściowym rozdziałem zatytułowanym *Final remarks*. Jego części to *Summary of the work* i *The scope of future investigations*. Spis literatury obejmuje 153 pozycje. Dołączony jest Appendix dotyczący dynamiki płyt cienkich. Wspomnijmy jeszcze o obowiązkowych streszczeniach angielskim i polskim.

Rozprawa sprawia wrażenie opracowania encyklopedycznego. Jest to bardziej komplement niż nagana w stosunku do Rozprawy. Oznacza to zwięzłość i oszczędność wypowiedzi. Oznacza to także, że każdy fragment tekstu czy wzoru może okazać się nieoczekiwanie ważny, a każda zauważona usterka może mieć ciężar znacznie większy od oczekiwanego. Dobrze się czyta taką pracę. W przypadku recenzowanej rozprawy doktorskiej wspomniana oszczędność jest chyba

zbyt daleko posunięta. Trudno bowiem znaleźć w pracy podporządkowanie się typowym szablonom typu „przedmiot, cel i zakres pracy” lub „uwagi i wnioski końcowe”. A jednak istnieje pewien uznany standard, któremu powinny podlegać rozprawy naukowe. Nie należy oczywiście wymagać od Doktoranta włączenia się do dyskusji na temat kontrowersyjnych cech tolerancyjnego modelowania. Jest to trudne nawet dla wytrawnych badaczy.

Niezbędne jest jednak uzasadnienie przyczyn wyboru metody modelowania i odpowiedź na pytanie, czy kompromis, na jaki zgadza się ktoś, kto decyduje się na stosowanie tej metody modelowania, nie jest zbyt daleko posunięty. Otrzymujemy przecież w zamian stałe współczynniki. Czy kompromis ten jest bardziej poświęceniem, czy bardziej wygodą wobec ceny, którą za to płacimy? Czy wpływ na otrzymane w pracy wyniki jest akceptowalny? Dlaczego wybierane funkcje kształtu są najlepsze z dostępnych? Dlaczego wybrana metoda modelowania jest właściwa? Czy i w jaki sposób można wykorzystać wyniki rozprawy? Czy otrzymane wyniki, mimo, że stosowana metoda jest przybliżona, są wiarygodne? Te pytania w stosunku do stosowanej metody pojawiają się zawsze, a nie ma śladu odpowiedzi na nie w Rozprawie. To właśnie wynik stosowanej oszczędności wypowiedzi. Czy taka dyskusja jest obowiązkowa dla Doktoranta? Lektury pracy nie ułatwia także brak jakiegokolwiek uwagi podsumowującej to, co w pracy zostało osiągnięte i co jest oryginalne. Czytelnik otrzymuje w zamian jednak przejrzystą strukturę pracy i przyjemność jej tzw. pierwszego czytania. Recenzent akceptuje taką konwencję, akceptuje też proponowaną zwięzłość wypowiedzi.

Drugie czytanie nasuwa kilka refleksji. Nie stanowią one krytyki Rozprawy, są jednak ściśle związane z podejmowanym tu tematem.

Procedura tolerancyjnego modelowania, którą Doktorant wykorzystuje w pracy, nie jest banalna. Wyciąkowanie zarówno gęstości masy jak i modułów sprężystości, por. wzory (3.1) na stronie 15, prowadzi do funkcji, które modelowanie tolerancyjne traktuje jako stałe przy różniczkowaniu i nie będące stałymi przy uśrednianiu (trzecia i czwarta z formuł (4.4) tolerancyjnego przybliżania). Ta „dziwność”, nie jest, wbrew pozorom błędem, musi być jedynie poprawnie rozumiana. Przytoczona uwaga dowodzi, że modelowanie tolerancyjne nie jest bynajmniej wynikiem stosowania szablonu i zawiera wiele miejsc, wymagających głębszego zastanowienia. Jedną z cen, jaką płacimy za wydobycie związku pomiędzy usystematyzowaniem najniższych częstości własnych i periodyczną geometrią kompozytu - a wydaje się on być istotą Rozprawy - jest właśnie konieczność stosowania nieszablonowego sposobu modelowania.

Imponuje uniwersalność wyprowadzenia równań tolerancyjnych. Pewien niepokój budzi jednak przypadek periodycznego pasma płytowego omówiony w rozdziale 7.1. Czytelnik jest zmuszony doszukiwać się stosowanej w tym wyprowadzeniu komórki periodyczności. Jeśli jest ona dwuwymiarowa i uniwersalna dla całej pracy, jak to sugeruje wprowadzona jej postać na początku pracy, to niestety nie jest spełniony podstawowy warunek dopuszczający stosowanie techniki tolerancyjnego uśredniania. Chodzi o wymiar charakterystyczny komórki, który musi być bardzo mały – a tu jest duży. Jeśli komórka jest jednowymiarowa, to otrzymane równania tolerancyjne są niepełne. Drugie równanie nie zawiera bowiem składnika z pierwszą pochodną przestrzenną tolerancyjnej amplitudy fluktuacji i tym samym analizowane równanie dyspersji jest całkiem inne. Jeśli wyrzucimy z rozważań jedną z osi układu, to model staje się jednowymiarowy i uniwersalność wyprowadzenia równań nie jest już uniwersalna. Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie podczas Obrony.

## II. Uwagi dyskusyjne.

Pracę czyta się z przyjemnością. Poszczególne zdania w całej pracy są ze sobą dobrze powiązane i tworzą przyjemny do lektury logiczny tok rozumowania. Podejmując wyzwanie zwięzłości wypowiedzi poproszę Doktoranta o ustosunkowanie się do dwóch uwag dyskusyjnych.

1. Pojawia się pytanie: jakie konsekwencje, nie tylko formalne, powoduje odrzucenie przybliżenia podyktowanego przez czwarty ze wzorów (4.4), czyli przyjęcie pełnej formuły różniczkowania iloczynu funkcji. Takie pytanie ma sens, bo przyjmowana w pracy cosinusowa funkcja kształtu jest różniczkowalna i nie ma potrzeby uwalniania się od konieczności różniczkowania tolerancyjnej funkcji kształtu. Czy konsekwencje te przeszkadzają w uzasadnieniu tezy, że deterministyczna struktura geometrii kompozytu, np. periodyczność płyty, jest ściśle powiązana z polaryzacją niższych częstotliwości drgań własnych?
2. Budzi wątpliwości ogólność rozwiązań równania czwartego stopnia przytoczonych na stronie 40., powtórzonych na stronie 47. pod numerem (7.39). Matematyka nie daje tu złudzeń. Przytoczone rozwiązania dotyczą szczególnego przypadku wielomianów czwartego stopnia reprezentowanych iloczynami dwóch trójmianów kwadratowych. Formalne wskazanie, które składniki w wyrażeniach (7.8) dla współczynników (7.7) należy opuścić, by wzory te były uzasadnione, nie stanowi problemu. Rozdział ten zbyt nieoczekiwanie się kończy więc, być może, wkraść się tu prozaiczny błąd w postaci braku fragmentu tekstu. Z drugiej strony, byłoby ładne wskazanie pewnego szczególnego przypadku ułatwiającego rozwiązanie równania dyspersji i korespondującego z pewnym szczególnym przypadkiem fizycznym. Nie jest to jednak przypadek wskazany przez Doktoranta.

## III. Uwagi szczegółowe.

Nie szukałem w pracy przypadkowych literówek i błędów edytorskich. W tak zwięzłym opracowaniu nie warto tego robić. Sądzę, że nawet gdybym takich błędów szukał, to pewnie znalazłbym ich niewiele. Sceptycyzm w stosunku do tego typu czynności jest zasługą Autora. Praca napisana jest bowiem z dużą starannością i, jak już zaznaczałem, godną podziwu zwięzłością. Zrozumiała jest także angielszczyzna. Przyznam, że cieszyła mnie możliwość czytania pracy bez pomocy słownika.

Uwagi szczegółowe ograniczę do trzech. Proszę Doktoranta o skomentowanie ich podczas Obrony:

1. Jak rozumieć stwierdzenie zawarte w pierwszym zdaniu rozdziału 1.3. podsumowujące rozdział poprzedni dotyczący "three-layered structures" (str.9):  
"Most of the aforementioned models are correct only for homogeneous structures or at least for composites with constant geometry and material property in each layer."?  
Czy chodzi tu o przejście do szczególnych przypadków lub w szczególności do płyt jednorodnych? Pomimo oszczędności wypowiedzi, Doktorant powinien w pracy umieścić komentarz dotyczący właśnie przejścia do prostszych przypadków płyt. Taka analiza to ważny test na poprawność konstruowanego modelu. Bez odpowiedniego komentarza giną jednak ważne treści zawarte w tym zdaniu.
2. Ciekawy i trudny termin „constant geometry” jest w powyższym zdaniu niejasny. Bądźmy jednak ostrożni. Ma on swoje ważne głębokie znaczenie.

3. Wzory (3.1) na stronie 15 wydają się typowe, a jednak zawierają bardzo istotne treści. Formalizm matematyczny, który budzi tu wątpliwości, jest bardzo ważny dla dalszej lektury pracy. Funkcje absolutnie ciągłe otrzymywane z tych wzorów są bowiem, jak wspomniałem wcześniej, przedmiotem bardzo subtelnych przybliżeń tolerancyjnych. Proszę Doktoranta o skomentowanie fizycznej i matematycznej interpretacji tych wzorów. Nawet, jeśli będzie to jakieś powtórzenie, nie będzie ono przesadą w kontekście prowadzonej dyskusji.

#### IV. Wniosek końcowy.

Podsumowując recenzję, podkreślam, że rozprawa napisana jest bardzo odważnie redakcyjnie. Wykorzystuje bardzo trudny – koncepcyjnie i matematycznie – proces dwustopniowego modelowania tolerancyjnego płyt sandwichowych. Samo zrozumienie tego procesu i podjęcie się jego zastosowania, wymagało od Doktoranta dużej dojrzałości naukowej.

Stwierdzam, że Rozprawa Doktorska mgr. inż. Jakuba Marczaka stanowi oryginalną próbę analizy trudnego problemu naukowego. Rozprawa odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim. Oceniam ją pozytywnie. Wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do Publicznej Obrony.

