

Bielsko-Biała, 5.1.2023r.

dr hab. inż. Dorota Pawlus, prof. ATH
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Podstaw Budowy Maszyn
ul. Willowa 2
43-309 Bielsko-Biała

Ocena rozprawy doktorskiej

mgr inż. Anny Litawskiej, pt.: „Dynamics of thin micro-periodic cylindrical shells: an extended version of the tolerance modelling technique”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Barbara Tomezyk, prof. Uczelni

Podstawą do opracowania oceny rozprawy doktorskiej jest Uchwała Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej wraz z pismem wiodącym Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej prof. dra hab. inż. Dariusza Gawina z dnia 28.10.2022.

1. Temat pracy

Podjęty przez Panią mgr Annę Litawską temat pracy dotyczący oceny reakcji cienkiej powłoki walcowej o strukturze niejednorodnej wpisuje się w ciąg prac tolerancyjnego modelowania struktur heterogenicznych ujawniających zarówno makro, jak i mikro zachowania. Dążenie do matematyczno-numerycznego poznania wrażliwości struktury o regularnie zmiennych parametrach materiałowych oraz geometrycznych jest ważnym wyborem problemu, który jest praktyczny i obecnie bardzo aktualny. Właściwe ukierunkowanie własności mechanicznych oraz termicznych elementów powierzchniowych pozwalające na uzyskiwanie przewidywalnych i zarazem oczekiwanych odpowiedzi struktur

ma ogromne znaczenie w ich projektowaniu. Intensywne poszukiwania rozwiązań wytrzymałościowo optymalnych, energetycznie oszczędnych i korzystnych ekonomicznie, a także przyjaznych środowisku prowadzi do budowy struktur bardziej skomplikowanych w których pojawiają się łączenia różniących się geometrycznie lub materiałowo części składowych. Taką propozycją jest badana w pracy walcowa cienka powłoka, której periodycznie zmienna struktura może mieć dwa lub jeden kierunek zróżnicowanych własności materiałowych i geometrycznych. Wspomnianą periodyczność zmian wywołuje powiązanie dwóch różnych materiałów w zakresie narzuconej geometrii gładkiej powierzchni powłoki lub złożony przypadek powłoki wzmocnionej uzebrowaniem o innych parametrach niż jej materiał podstawowy.

Wybrane zagadnienia dynamiki, w tym ocena drgań własnych struktury pokazują znaczenie przyjętych metod modelowania tolerancyjnego wśród których wyróżnione jest bardziej wrażliwe rozszerzone modelowanie tolerancyjne. Skoncentrowanie badań Pani Doktorantki na właśnie tej technice modelowania powłoki i ocenie możliwości prowadzenia dokładniejszej analizy wpływu mikrostruktury powłoki na jej odpowiedzi zasługuje na szczególne uznanie.

2. Charakterystyka pracy

Praca napisana jest w języku angielskim. Obejmuje 296 stron zwartej edycji tekstu, formuł matematycznych, rysunków i wykresów będących wynikami badań. Temat został ujęty w dziewięciu rozdziałach poprzedzonych wykazem podstawowych symboli i uzupełnionych obszernym dodatkiem analitycznych obliczeń wielkości opisujących równania powłok walcowych oraz literaturą i streszczeniami w języku angielskim i polskim. Ogólny wygląd pracy, jakość edycji, prezentacje graficzne są na bardzo wysokim poziomie. Układ pracy jest bardzo logiczny, konsekwentny i przejrzysty. Liczne wyjaśnienia, wyróżnienia zapisu, powtarzalność wybranych elementów tekstu poprawiają czytelność merytorycznej treści pracy i rozpoznanie sformułowanych zadań.

W rozdziale 1 pracy doktorskiej w sposób bardzo komunikatywny sformułowano problem, obiekt badany, metody modelowania i sposób rozwiązania wybranych zagadnień dynamicznych. Zwrócono uwagę na istotę rozszerzonej techniki tolerancyjnego modelowania w której iloczyn pochodnej funkcji słabo wolnozmiennnej modelującej przemieszczenia mikrostruktury i parametru długości mikrostruktury nie jest pomijany. Możliwości, zalety i wady metody w odniesieniu do pozostałych metod modelowania, szczególnie podczas analizy mikrostrukturalnej, są głównym przedmiotem oceny badawczej. W rozdziale wyznaczono cele

badawcze i sformułowano cztery założenia stanowiące tezy dysertacji. Dodatkowo scharakteryzowano treść poszczególnych rozdziałów pracy. Zwrócono uwagę na praktyczne znaczenie powłok walcowych posiadających budowę mikrostrukturalną. Istotną informacją są wymienione prace naukowe, których współautorką jest Pani mgr Anna Litawska. Każda z nich jest bardzo wartościową, recenzowaną publikacją o wysokiej liczbie punktów, w której przedstawiona jest tematyka modelowania tolerancyjnego zagadnień zbliżonych.

Przegląd literatury w obszarze prac związanych z tematyką dysertacji przedstawiono w rozdziale 2. Dokonano trafnego wyboru prac powiązanych tematycznie technikami modelowania, których przegląd obejmuje metody bezpośrednio zastosowane w pracy oraz metody pokrewne. Zwrócono uwagę na szeroki zakres zagadnień nie tylko mechanicznych, ale także termicznych, termiczno-sprężystych dotyczących także struktur z funkcyjną gradacją własności. Podkreślono znaczenie prac profesora Czesława Woźniaka i wielu Autorów, w tym także Pani Profesor Barbary Tomczyk – promotor rozprawy doktorskiej – w wieloletnim procesie naukowego rozwoju matematycznych technik opisu modelu struktury heterogenicznej o ukierunkowanych periodycznie własnościach. W ocenie makroskopowej, ważnej szczególnie w praktyce inżynierskiej, doceniono prace, w których modelowanie wykorzystuje metodę elementów skończonych, a obliczenia prowadzone są z użyciem programów komercyjnych.

Podstawy i przyjęte założenia techniki rozszerzonego modelowania tolerancyjnego i asymptotycznego przedstawiono w rozdziale 3 dysertacji. Wyjaśniono główne pojęcia techniki modelowania, takie jak: funkcja słabo wolnozmienna i funkcja wolnozmienna, fluktuacyjna funkcja kształtu, technika tolerancyjnego uśredniania czy założenie o mikro-makro dekompozycji pola przemieszczeń.

Obiekt badany - cienką, sprężystą, walcową powłokę przedstawiono w rozdziale 4 dysertacji. Badaniom poddano powłokę o jednokierunkowej, obwodowej niejednorodności lub dwukierunkowej w postaci zmian własności materiałowych lub zarówno zmian parametrów materiałowych i geometrycznych, które wnoszą żebrówce wzmocnienia powłoki rozmieszczone na jej obwodzie przy ustalonych własnościach w kierunku osi lub rozmieszczone w obu kierunkach obwodowym i osiowym dla biperiodycznej powłoki.

Zdefiniowano, m.in. ważny w ocenie mikrostrukturalnej parametr długości komórki. Układ równań dynamicznych Eulera-Lagrange'a wyprowadzono na podstawie liniowej teorii Kirchhoffa-Love'a cienkiej powłoki wprowadzając funkcję Lagrange'a po wyrażeniu funkcji energii odkształcenia sprężystego, funkcji energii kinetycznej i potencjalnej sił zewnętrznych.

Dalszy układ pracy, podobnie, jak to zauważono w punkcie 1 dysertacji, pozwala na łączony opis treści rozdziałów dla powłok dwu i jednokierunkowo periodycznych. Rozdziały 5 oraz 6 są szczególnie ważną częścią dysertacji. Wykorzystując techniki modelowania tolerancyjnego przedstawiono matematyczne modele odpowiednio powłoki dwukierunkowo niejednorodnej oraz powłoki obwodowo periodycznie zmiennej. Procedurę modelowania przeprowadzono wykorzystując proponowane w dysertacji zmodyfikowane techniki modelowania tolerancyjnego, asymptotycznego oraz łączonego asymptotyczno-tolerancyjnego. Stosując proponowaną procedurę rozszerzonego modelowania tolerancyjnego dostosowano układ równań Eulera-Lagrange'a do rozwiązywanego zadania, który dla tolerancyjnie przybliżonej postaci lagrangianu umożliwia określenie relacji konstytutywnych z wykorzystaniem mikro-makro dekompozycji przemieszczeń i zbudowania równań dynamicznych z niewiadomymi funkcjami makroprzemieszczeń i amplitudami mikroprzemieszczeń. Przeprowadzono wnikliwą dyskusję wyników porównując otrzymane zależności z zależnościami również wyprowadzonymi przy pomocy techniki standardowego modelowania tolerancyjnego. Podobnie dla kolejnych proponowanych technik modelowania asymptotycznego oraz łączonego asymptotyczno-tolerancyjnego wyprowadzono zależności dynamiczne wiążące niewiadome funkcje makro i mikroprzemieszczeń. Przeprowadzono dyskusję wyników porównując, także wyprowadzone, matematyczne relacje dla standardowego łączonego modelu asymptotyczno-tolerancyjnego z nową propozycją.

Rozbudowane rozdziały 7 i 8 dysertacji stanowią część obliczeniową pracy, w których przedstawiono przykładowe, wybrane analizy dynamiczne odpowiednio powłok jedno i dwukierunkowo zmiennych. W rozdziałach po zdefiniowaniu parametrów materiałowych i geometrycznych powłok, przyjęciu postaci funkcji fluktuacyjnych mikroprzemieszczeń wyrażonych podwójną lub pojedynczą, parzystą lub nieparzystą funkcją trygonometryczną dla modelu tolerancyjnego powłoki wyprowadzono zależności opisujące niższe i wyższe częstotliwości drgań własnych. Otrzymane wyniki porównano z częstotliwościami drgań wyznaczonymi standardową, dotychczasową metodą tolerancyjną oraz przy wykorzystaniu metody asymptotycznej. Przeprowadzono staranną dyskusję wpływu parametrów materiałowych i geometrycznych, w tym również związanych z rozmiarami powtarzalnej komórki powłoki w postaci wykresów i bardzo obszernej analizy wyników. Szczególnie ciekawą jest część dotycząca porównania reakcji struktur powłok dwu i jednokierunkowo periodycznych. Część dotycząca analizy powłoki jednokierunkowej wzbogacono porównaniem niższej częstotliwości drgań powłoki wyznaczonej dla modelu tolerancyjnego z wynikami dla modelu powłoki

zbudowanego z elementów skończonych. Obliczenia prowadzono wykorzystując program ABAQUS. Wyniki pokazują dobrą zgodność liczb. Wykorzystując zarówno proponowany w dysertacji, jak i standardowy model asymptotyczno-tolerancyjny wyprowadzono częstotliwości drgań mikrostruktury w kierunku obwodowym, poprzecznym, a dla powłoki jednokierunkowo zmiennej także w kierunku osiowym. Otrzymane rezultaty podsumowano bardzo dokładną oceną liczb i obserwacją zachowań mikrostruktury. Dla powłoki dwukierunkowo zmiennej przeprowadzono pełną analizę mikrodrgań harmonicznym w kierunku osiowym. Ujawniono, m.in. warunki występowania drgań oscylacyjnych, tłumionych czy odpowiadających warunkom rezonansu. Kolejnym, wybranym zagadnieniem wspólnym dla obu przypadków powłok periodycznie zmiennych, które rozwiązano dla modelu powłoki asymptotyczno-tolerancyjnej jest problem oceny prędkości propagacji fali. Podkreślono walory asymptotyczno-tolerancyjnego modelowania pozwalającego na obserwację wpływu rozmiaru powtarzalnej komórki powłoki na wyniki końcowe zaznaczając brak możliwości przeprowadzenia analizy przy zastosowaniu innych, często stosowanych technik modelowania, takich jak: metoda elementów skończonych czy metoda różnic skończonych. Część obserwacyjną powłok jednokierunkowo periodycznie zmiennych, również wzbogacono o bardzo ciekawe porównanie obu przypadków powłok z jednym i dwoma kierunkami elementów powtarzalnych.

Rozdział 9 dysertacji jest bardzo obszernym podsumowaniem podjętych badań. Zawiera charakterystykę i ocenę przedstawionych technik modelowania powłok. Zalety modelowania umożliwiającego analizę wpływu nieregularnej struktury powłoki i ujawnienie subtelnych zachowań mikrostruktury są szczególnie podkreślone. W pełni potwierdzona jest realizacja wyznaczonych celów badań oraz prawidłowość założonych tez. Podkreślono inżynierską praktyczność zagadnienia, które można wykorzystać w obliczeniach powłok o strukturach bardziej rozbudowanych, m.in. poprzez udział dodatkowych materiałów lub elementów usztywniających. Wskazano możliwe tematy dalszych zaawansowanych badań naukowych, takich jak nieliniowe zagadnienia dynamiki, utrata stateczności czy termosprężystość, w których do pełnego poznania makro i mikrostruktury wykorzystanie proponowanej, rozszerzonej techniki modelowania elementów powierzchniowych o kierunkowo zmiennych własnościach jest niezbędne.

3. Ocena pracy

Temat pracy nie zostałby sformułowany, gdyby nie wieloletnie badania i osiągnięcia Grupy Naukowców, w tym oczywiście także Pani Profesor Barbary Tomczyk, których prace naukowe są wymienione w literaturze pracy doktorskiej. Szczególnym znaczeniem wyróżnia się opracowanie profesora Czesława Woźniaka i profesor Uczelni Barbary Tomczyk, pt.: "Tolerance models in elastodynamics of certain reinforced thin-walled structures" w monografii Z. Kołakowski, K. Kowal-Michalska: „Statics, Dynamics and Stability of Structural Elements and Systems”, oraz monografia profesor Uczelni Barbary Tomczyk, pt.: "Length-scale effect in dynamics and stability of thin periodic cylindrical shells", w których przedstawione są merytoryczne podstawy modelowania tolerancyjnego proponowanego w niniejszej dysertacji. Sensem naukowych poszukiwań jest pogodzenie dostępnych możliwości badawczych z dążeniem do uzyskania rozwiązań dokładniejszych, które przybliżają badany obiekt do zawsze złożonej rzeczywistości. Takim kompromisem jest przedstawione w rozprawie doktorskiej rozwiązanie sposobu modelowania struktur niejednorodnych. Oczekiwanie uzyskania większej dokładności lub dostępu do rozwiązań zagadnień, których poznanie metodami inżynierskimi nie byłoby możliwe zostało z sukcesem opisane w pracy doktorskiej Pani mgr Anny Litawskiej. Wieloletnie zaangażowanie Pani Doktorantki tematem dysertacji o którym świadczą wymienione w literaturze współautorskie publikacje, w tym pierwsza z roku 2017, pozwoliło na przedstawienie bardzo obszernego opracowania z zakresu technik rozszerzonego modelowania tolerancyjnego walcowych, cienkich powłok o jedno lub dwukierunkowej budowie periodycznej. Uważam, że należy docenić zarówno decyzję Pani Doktorantki o wyborze nietłatego, zaawansowanego tematu badań dotyczącego modelowania powłok niejednorodnych, jak i przede wszystkim obszerny zakres prac zrealizowanych rozwiązując nie tylko podstawowe problemy mechaniki dla makrodrgań własnych struktury, ale także zagadnienia, jakie formułuje struktura niejednorodna w dążeniu do poznania jej wrażliwości na rodzaj i cechy elementów powtarzalnych. Narzucony zakres zadań ujęty w przedstawionych celach pracy, które udało się z sukcesem zrealizować, w tym ilość przeprowadzonych rozwiązań zarówno nowymi, ogólnymi technikami tolerancyjnego modelowania, jak i dotychczasowymi o ugruntowanej pozycji w literaturze jest imponujący i zasługuje na szczególną uwagę. Doktoranta stosuje zarówno nowe, wymagające pod względem matematycznym techniki modelowania, jak i inżyniersko dostępne, wykorzystujące przybliżenia elementami skończonymi z użyciem programu ABAQUS

potwierdzając tym samym osiągnięte umiejętności prowadzenia analityczno-numerycznych badań w obszarze różnych zagadnień mechaniki. Dążenia do ujawnienia subtelnych właściwości struktury powłoki ukrytych w jej schematycznej budowie mikroskopowej przyczyniły się do otrzymania nowych, oryginalnych wyników badań zarówno z obszaru samego modelowania elementu powierzchniowego, jak i ścisłego rozwiązania wybranych problemów dynamiki wraz z obliczeniami szczegółowymi. Należy docenić przedstawienie licznych analiz, obserwacji, podsumowań i porównań, które skutecznie pokazują zalety i wady zmodyfikowanych technik modelowania tolerancyjnego. Wnikliwa i uczciwa dyskusja wyników pokazuje zwiększoną wrażliwość nowych modeli powłok na wpływ istniejącej mikrostruktury; unikalność zmodyfikowanych technik modelowania tolerancyjnego w rozwiązywaniu wybranych zagadnień mikromechaniki, ale także w wybranych przypadkach zaobserwowany brak znaczących różnic wyników obliczeniowych częstości drgań własnych pomiędzy rozwiązaniami nowymi i standardowymi procedurami sugerując wybór metody standardowej jako obliczeniowo korzystniejszej. Bardzo szczegółowa ocena wpływu parametrów materiałowych i geometrycznych na makro i mikrodynamikę powłoki jest naukowo bardzo wartościowa i oczywiście ma bardzo ważne znaczenie praktyczne. Na uwagę zasługuje porównanie obu badanych przypadków powłok jedno i dwukierunkowo niejednorodnych oraz bardzo ciekawa obserwacja wpływu drugiego kierunku niejednorodności w zależności od jej stopnia oraz różnic parametrów sprężystości materiałów łączonych na dynamikę odpowiedzi powłoki biperiodycznej.

Dodatkowym walorem pracy jest jej idealna edycja. Kompletny i wyczerpujący zapis dysertacji praktycznie pozbawiony jest jakichkolwiek braków czy niedoskonałości. Natomiast bardzo wysoki poziom opracowania podsumowania pracy doktorskiej z wymienionymi licznymi elementami świadczącymi o nowości i oryginalności pracy oraz decydującymi o uzyskaniu znaczących osiągnięć końcowych może wpisywać się w słuszną, bardzo pozytywną opinię, którą właściwie powinien przedstawić recenzent dysertacji.

W części dyskusyjnej recenzji przedstawiam kilka spostrzeżeń-myśli, które absolutnie nie są uwagami krytycznymi:

1. Myśl dotycząca powiązania makro i mikrodrgań struktury szczególnie dla teoretycznie możliwych kolejnych postaci drgań. Przyjęte postaci makroprzemieszczeń i amplitudy mikrodrgań niejako narzucają obie formy drgań i fizyczną postać oscylującej struktury powłoki. Budowa modelu odpowiadającego kolejnej postaci drgań struktury o wyższej częstości wymagałaby zmiany przyjętych funkcji. Pod kątem matematycznym jak

- postrzegany byłby tego typu problem? Czy z fizyczną oceną takiego zjawiska lub badaniami doświadczalnymi Pani Doktorantka miała okazję się zapoznać?
2. Myśl związana z uzupełnieniem lub raczej rozszerzeniem spostrzeżenia o wybranych zagadnieniach dynamiki, które mogą być reprezentowane przez wyprowadzone równania zmodyfikowanego modelu asymptotycznego.
 3. Myśl związana z próbą przedstawienia liczbowej różnicy dla wybranego przypadku mikrodrgań pomiędzy wynikami uzyskanymi dla rozszerzonego, nowego i standardowego modelu tolerancyjnego wybranej powłoki.
 4. Myśl związana z uwypukleniem przypadków, gdy wprowadzenie niejednorodności struktury w obu kierunkach byłoby na podstawie podjętych analiz mechanicznych korzystniejsze. Dlaczego poza aspektem ekonomicznym raczej rzadko obserwujemy biperiodyczne kształty struktur?
 5. Myśl związana z wyznaczeniem inżynierskich wskazówek dla procedury obliczeniowego projektowania powłoki niejednorodnej.

4. Podsumowanie

Podsumowując przedstawiony przegląd pracy doktorskiej; jej bardzo wysoką wartość merytoryczną; trafny, oryginalny wybór tematyki badań; imponujący zakres zrealizowanych zadań oraz naukową wnikliwość analizowanych i ocenianych wyników obliczeń, a także idealny poziom edycji uważam, że dysertacja Pani mgr Anny Litawskiej w pełni, w sposób wyróżniający spełnia wszystkie wymagania jakie stawiane są doktorskiej pracy naukowej i może być przedmiotem dyskusji w trakcie obrony.

5. Wniosek końcowy

Oceniana praca Pani mgr inż. Anny Litawskiej, pt.: „Dynamics of thin micro-periodic cylindrical shells: an extended version of the tolerance modelling technique” spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014r. poz.1852 oraz z 2015r. poz.249 i 1767).

Wnioskuje o jej przyjęcie jako podstawy do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych przez Panią mgr inż. Annę Litawską i dopuszczenie Doktorantki do publicznej obrony.

6. Wniosek o wyróżnienie pracy doktorskiej

Wnioskuje o wyróżnienie pracy doktorskiej. W mojej ocenie głównym elementem decydującym o jej ponadprzeciętnym poziomie jest wykorzystanie zaawansowanej matematycznie techniki modelowania tolerancyjnego powłok szczególnie tych o dwukierunkowej niejednorodności połączone z bardzo wartościowym naukowo porównaniem rozwiązań otrzymanych proponowanymi zmodyfikowanymi technikami modelowania tolerancyjnego i asymptotyczno-tolerancyjnego z technikami standardowymi. Poszukiwanie i dyskusja dotycząca metod modelowania dokładniejszego przedstawione w dysertacji zostały także docenione w kilku wysokopunktowych publikacjach, których Pani mgr Anna Litawska jest współautorką. Uważam, że przedstawione konsekwentne, naukowe, badawcze postępowanie w pełni wpisuje się w oczekiwania stawiane wyróżniającym się pracom doktorskim.

Donat Pablu

