

Warszawa, 7 listopada 2016

Prof. dr hab. Stanisław Matysiak
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geologii
Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej
Ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Vazgena Bagdasaryana
pt. „*Model tolerancyjny sprzężonych pól temperatury i przemieszczeń
w periodycznych materiałach wieloskładnikowych*”**

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Prof. dr hab. inż. Eugeniusza Kody z dnia 27.10.2016.

Opis treści pracy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy zagadnień modelowania termomechaniki kompozytów o strukturze periodycznej. Tematyka pracy, a szczególnie metoda matematyczna służąca do wyprowadzenia równań opisujących zachowanie takich materiałów, znajdujących się pod wpływem oddziaływań termicznych i mechanicznych jest nowoczesną, zapoczątkowaną przez Prof. Cz. Woźniaka i nadal rozwijaną między innymi na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW. Metoda ta pozwala na uwzględnienie pewnych efektów związanych z rozmiarem komórki periodyczności.

Rozprawa doktorska mgr. inż. V. Bagdasaryana składa z pięciu rozdziałów i spisu literatury. Rozdział 1 „Wstęp” zawiera definicje i klasyfikacje kompozytów ze szczególnym uwzględnieniem sprężystych kompozytów o strukturze periodycznej. Ponadto Doktorant powołując się na literaturę podaje podstawowe relacje termosprężystości dla ciał niejednorodnych. Mając na uwadze tytuł rozprawy Autor omawia w sposób skondensowany metody homogenizacji, a szczególnie skupia się na technice uśredniania tolerancyjnego zaproponowanej przez prof. Cz. Woźniaka w 1999 roku, którą będzie stosował w dalszej

części pracy doktorskiej. Mgr inż. V. Bagdasaryan określa również cele rozprawy, podaje jej tezę.

Rozdział 2 pt. „Model uśredniony termosprężystych ciał wieloskładnikowych” poświęcony został konstrukcji modelu zastępczego, zamieniającego układ równań „klasycznych” termosprężystości o skokowo nieciągłych współczynnikach układem równań o „uśrednionych”, stałych współczynnikach. Punktem wyjścia jest dekompozycja przemieszczeń i temperatury w postaciach wartości uśrednionych sumowanych z tzw. fluktuacjami (związanymi z niejednorodnością kompozytu). Doktorant oparł wyprowadzenie na modyfikacji funkcjonałów (wzory (1.2.3)) i równaniach (1.2.4). Stosując technikę tolerancyjnego uśredniania i dekomponując przemieszczenia i temperaturę Doktorant otrzymał komplet równań modelu dla kompozytów periodycznych w trzech kierunkach. Model ten zależy od wyboru tzw. funkcji kształtu. W przypadku kompozytów periodycznych otrzymane równania są równaniami różniczkowymi cząstkowymi o stałych współczynnikach. Mgr inż. V. Bagdasaryan rozpatrzył następnie materiały periodyczne w jednym kierunku (laminaty) otrzymując równania modelu (2.2.3) (lub w przypadku naprężeń cieplnych (2.2.4)). Oddzielnie Doktorant uśrednił potencjały dla przypadku kompozytów periodycznych w dwu kierunkach i otrzymał równania modelu tolerancyjnego (2.3.4).

Rozdział 2 zawiera propozycję funkcji kształtu stwierdzając na str. 21, że „W przypadku ośrodków periodycznych funkcja kształtu musi być periodyczna i oscylująca”. Te żądania wydają się być niewystarczające, gdyż funkcje kształtu powinny zapewnić ciągłość strumienia ciepła i wektora naprężenia na powierzchniach łączących poszczególne składniki kompozytu.

Rozdział 3 rozprawy doktorskiej pt. Przewodnictwo cieplne w ciałach wieloskładnikowych” zawiera pewne rozwiązania zagadnień przewodnictwa ciepła w kompozytach w ramach otrzymanych wcześniej modeli tolerancyjnych. Doktorant rozpoczął od kompozytów warstwowych, złożonych z izotropowych przewodników ciepła będących składnikami ciała. Wyprowadził model asymptotyczny, szkoda tylko, że nie porównał go z istniejącym i dobrze opracowanym w literaturze modelem homogenizowanym z parametrami mikrolokalnymi (prace te Autor częściowo cytuje we „Wstępie”).

Dalej mgr inż. V. Bagdasaryan przeszedł do kompozytów o dwóch kierunkach periodyczności. Przyjął założenie, że komórka periodyczności ma przekrój prostokątny, składa się z czterech materiałów jednorodnych o przekrojach prostokątnych (Rys. 3.1). Doktorant zaproponował dwie, kawałkami liniowe funkcje kształtu. Szkoda, że nie sprawdził

ciągłości wektora strumienia ciepła na powierzchniach łączących poszczególne fazy. W przypadku modelu asymptotycznego nie porównał wyników z wynikami otrzymanymi przez recenzenta w pracy pt. „On certain problems of heat conduction in periodic composites”, ZAMM 71, 12, (1991), 524 – 528.

W Rozdziale 3 Doktorant rozwiązuje zagadnienia brzegowe dla pasma periodycznie dwuwarstwowego (w ramach modelu tolerancyjnego) ograniczając się do temperatury. Rozpatruje zagadnienia stacjonarne i niestacjonarne pokazując wpływ rozmiaru „komórki” periodyczności (grubości warstwy podstawowej) na rozkład temperatury. Szkoda, że Autor nie zbadał wektora strumienia ciepła, gdzie te wpływy byłyby bardziej widoczne. Ponadto Doktorant rozwiązał zagadnienia dla dwuwarstwowego kompozytu o przekroju prostokątnym stosując metodę różnic skończonych. Rozpatrzył tu trzy warianty zagadnień brzegowych dla zagadnień stacjonarnych przedstawiając w postaci wykresów rozkłady temperatury uśrednionej i temperatury z uwzględnieniem fluktuacji. Następnie Doktorant przeszedł do analizy zagadnień brzegowych dla kompozytów o dwóch kierunkach periodyczności. Równanie (3.3.2) na temperaturę uśrednioną można przez zamianę zmiennych zamienić na równanie Laplace’a, które jest dobrze znane w literaturze. Mgr inż. V. Bagdasaryan zastosował metodę różnic skończonych dla ciała o przekroju prostokątnym otrzymując rozkłady temperatury uśrednionej oraz temperatury z wpływem fluktuacji. Rozdział 3 został zakończony porównaniem rozwiązań w modelu tolerancyjnym i asymptotycznym, które wykonano na podstawie otrzymanych rozwiązań dla jednego z wariantów zagadnień brzegowych. Doktorant przeprowadził analizę błędu względnego w zależności od rodzaju składników kompozytu.

Rozdział 4 pt. „Model uśredniony teorii naprężeń cieplnych w laminatach periodycznych” rozszerza tematykę poprzedniego rozdziału o przemieszczenia i naprężenia. Doktorant ogranicza się do analizy modelu laminatów w ramach teorii naprężeń cieplnych. Zakładając, że składniki kompozytu są izotropowymi, jednorodnymi przewodnikami przedstawił równania tolerancyjnego modelu na niewiadome uśrednione przemieszczenia i fluktuacje przemieszczeń (równania (4.1.4)). Mgr inż. V. Bagdasaryan podaje również równania tolerancyjnego modelu asymptotycznego. Szkoda, że nie przeprowadził analizy porównawczej tego modelu z modelem znanym w literaturze tzw. modelem homogenizowanym z parametrami mikrolokalnymi. Brakuje również warunków brzegowych i początkowych, co by spowodowało kompletność modelu. Następnie Doktorant rozwiązuje jednowymiarowe zagadnienie pasma laminatowego (w ramach modelu asymptotycznego),

sztywno zamocowanego na pobocznicach podając tylko przemieszczenia. Szkoda, że Autor nie wyznaczył składowych tensora naprężeń, gdyż tam powinny pojawić się ciekawe efekty związane ze strukturą kompozytu. Drugim zagadnieniem traktowanym jako przypadek szczególny jest analiza dla kompozytu o przekroju prostokątnym. Trudno z pracy się domyślić jakie składniki kompozytu Autor przyjął do obliczeń (pisze tu krótko „dla przyjętych materiałów otrzymano”, podając wartości modułów efektywnych). Do znalezienia rozwiązania Doktorant zastosował metodę różnic skończonych, a otrzymane rezultaty przedstawił na wykresach. Dotyczą one przemieszczeń uśrednionych i przemieszczeń z uwzględnieniem fluktuacji. Mgr inż. V. Bagdasaryan rozwiązał (analogicznie jak w poprzednim rozdziale) trzy warianty warunków brzegowych.

Ostatni Rozdział 5 pt. „Podsumowanie i wnioski” został napisany bardzo skrótowo, w którym Doktorant omówił otrzymane rezultaty. Rozprawę kończy „Literatura”, zawierająca spis prac i monografii zawierający 105 pozycji.

Ocena rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy dotyczy modelowania zagadnień termosprężystości kompozytów o strukturze periodycznej. Jest ona rozwijana od wielu lat, o czym świadczy między innymi spis literatury zamieszczony na końcu rozprawy. Otrzymane modele dla termosprężystych materiałów wieloskładnikowych są pewnymi przybliżeniami sformułowań w ramach klasycznej teorii sprężystości. Każda próba zbudowania modelu bardziej dokładnego lub uwzględniającego nowe efekty stanowi wkład do mechaniki kompozytów. Recenzowana rozprawa doktorska jest jedną z takich prac. Doktorant zaadoptował w niej technikę tolerancyjnego uśredniania do wyprowadzenia równań modeli tolerancyjnego i tolerancyjnie asymptotycznego. Zrobił to w oparciu o uśrednianie dwóch potencjałów termosprężystości, po ich zmodyfikowaniu wykorzystującym dekompozycję temperatury i przemieszczeń na wartości uśrednione i fluktuacje, co stanowi nowe podejście w modelowaniu kompozytów periodycznych. Doktorant ograniczył się tu do wyprowadzenia równań modeli dla kompozytów periodycznych w trzech, dwóch i jednym kierunku. Dla pełnego opisu brakuje w rozprawie podania warunków brzegowych i początkowych. Ponadto Doktorant nie podał związków za pomocą których wyznacza się strumień ciepła, tensor naprężenia po obliczeniu uśrednionych przemieszczeń i temperatury oraz ich fluktuacji. Drugim celem rozprawy było przetestowanie modeli przez rozwiązanie wybranych zagadnień początkowo-brzegowych dla kompozytów. Rozpatrzone zagadnienia szczegółowe charakteryzowały się warunkami

brzegowymi na temperaturę i przemieszczenia (nie uwzględniały przypadków zadanego strumienia ciepła lub obciążeń brzegu kompozytu). To może nie wymusiło przeprowadzenia obliczeń naprężeń i strumienia ciepła. Przedstawione w rozprawie modele kompozytów periodycznych zależą od doboru funkcji kształtu. Ich dobór powinien być taki, by spełnione były warunki ciągłości na powierzchniach łączących poszczególne składniki kompozytu (chyba, że pomija się spełnienie tych warunków – co powinno być zaznaczone). Modele tolerancyjnie uśrednione są pewnym przybliżeniem zagadnień sformułowanych w ramach termosprężystości. Rozpatrzone przez Doktoranta zagadnienia jednowymiarowe dla kompozytów periodycznych w jednym kierunku można rozwiązać dokładnie (analitycznie) stosując teorię termosprężystości i wtedy porównać wyniki z rezultatami otrzymanymi w ramach modeli przybliżonych. Mgr inż. V. Bagdasaryan rozwiązał ponadto trzy przypadki zagadnień przewodnictwa ciepła i trzy – dla teorii naprężeń cieplnych rozpatrując kompozyt o dwukierunkowej periodyce, stosując wyprowadzone modele. Wykazał się tu znajomością metody różnic skończonych, a wyniki przedstawił graficznie w postaci trójwymiarowych rozkładów temperatury, przemieszczeń, a także analizując te pola na przekrojach. Stanowi to również wkład do termomechaniki kompozytów.

Redakcji pracy nie oceniam wysoko. Autor starał się ją napisać bardzo skrótowo, co nie najlepiej wpłynęło na jej czytelność. Brakuje oddzielenia rozpatrywanych przykładów zagadnień. Każdy przykład powinien zaczynać się od pełnego opisu fizycznego, następnie przedstawienia potrzebnego kompletu warunków brzegowych (lub początkowo-brzegowych) i układu równań. Szczególnie trudno się czyta Rozdział 4, gdzie Autor nie podaje warunków na temperaturę odwołując się do rozwiązania otrzymanego w Rozdziale 3, a niezerowa temperatura na brzegu jest przyczyną zmian przemieszczeń. Cennym elementem pracy i stanowiącym nowość jest przedstawiona analiza błędu względnego pomiędzy wariantami: asymptotycznym a tolerancyjnym – strony 51 – 54. Szkoda, że Doktorant nie skomentował tych wykresów bardziej szczegółowo (np. który z rozpatrywanych przypadków składowych kompozytu posiada mniejszy lub większy, uśredniony współczynnik przewodnictwa ciepła).

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska, mimo wielu braków i niedociągnięć, stanowi nowy wkład do termosprężystości kompozytów o strukturze periodycznej, gdyż:

- (1°) zawiera oparte na zmodyfikowanych przez Doktoranta potencjałach, wyprowadzenie równań modeli: tolerancyjnego i asymptotycznie tolerancyjnego,
- (2°) przedstawione na przykładach, porównania wyprowadzonych modeli,
- (3°) nowym elementem jest analiza błędu względnego pomiędzy rozwiązaniami otrzymanymi w ramach tych modeli.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Vazgena Bagdasaryana pt. „Model tolerancyjny sprzężonych pól temperatury i przemieszczeń w periodycznych materiałach wieloskładnikowych” spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o tytule i stopniach naukowych.

Wnoszę o dopuszczenie jej przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego do publicznej obrony



Prof. dr hab. Stanisław Matysiak