Prof. zw. dr hab. Andrzej Radowicz
Katedra Mechaniki
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechnika Świętokrzyska
Kielce

Kielce, 23.05.2015

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Marii Nienartowicz pt.: *Modelowanie i analiza MES właściwości dynamicznych materiałów kompozytowych termicznie optymalnych.*

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. Tomasz Stręk
Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej DM – 63/189/2015 z dn. 31.03.2015.

1. Układ i zakres rozprawy, uzasadnienie wybory tematu.

W rozwiązywaniu złożonych problemów technicznych inżynierowie napotykają szereg trudności, zarówno rachunkowych jak i w prowadzeniu prawidłowej analizy interpretacji zjawisk. Wieloparametrowy zakres zjawisk jak i właściwości w projektowaniu nowych materiałów, np. kompozytowych wymusza na badaczu wstępnej, subiektywnej oceny uznania które parametry są istotne dla opisu rozważanych zjawisk i właściwości, a które można pominąć. Takie podejście leży u podstaw metody zwanej modelowaniem. Należy zauważyć, że modelowanie to nie tylko rozwiązywanie równań różniczkowych. Gdy mamy już określone parametry i równania, musimy je skalibrować, tzn. wyznaczyć sensowne zakresy tych parametrów i ich wartości początkowe, np. przez optymalizację. Dla niektórych układów opisywanych równaniami nieliniowymi jest to trudne a czasem nawet niemożliwe. Budując model, zasadniczo wychodzi się od najprostszych zależności przyczynowo – skutkowych, a nadrzędną czynnością jest dokładne przemyślenie jakie będzie przeznaczenie modelu, jakie decyzje będą podejmowane w zależności od wartości parametrów oraz prognoz sporządzonych za pomocą modelu. Niezwykle ważną rzeczą jest szacunek błędów i ograniczeń wynikających przyjętego modelu zjawisk bądź właściwości materiałowych. Na ogół istnieje pewna możliwość wyboru narzędzi modelowania. Mogą to być ścisłe metody analityczne, mogą być metody statystyczne bądź eksperymentalne. Obecnie, od szeregu lat skutecznymi narzędziami są numeryczne metody obliczeniowe. Wśród tych ostatnich powszechnie stosowaną, ze względu na jej ogromną przydatność, jest metoda elementów skończonych, MES. Generalnie MES

traktuje się jako sposób aproksymacji obiektu traktowanego jako ośrodek ciągły, zbiorem elementów (podobszarów) prowadzący do ustalenia równań w sposób przybliżony, z dostateczną dla inżyniera dokładnością. Optymalizacja topologii dostarcza odpowiedź na pytanie o sposób rozmieszczenia w pewnej przestrzeni materiału przeznaczonego do wykonania danej konstrukcji bądź mechanizmu tak, aby przy zadanych warunkach granicznych kształt konstrukcji oraz właściwości wybranego materiału były optymalne. Proces optymalizacji polega na poszukiwaniu maksymalnej bądź minimalnej wartości funkcji celu, przy spełnieniu pewnej liczby warunków ograniczających.

Powyższe zestawienie podstawowych informacji było niezbędne do ustalenia obszaru zagadnień w ramach których pracowała Autorka realizując pracę doktorską, oraz do ustalenia kryteriów mojej oceny tej pracy.

Tytuł rozprawy: *Modelowanie i analiza MES właściwości dynamicznych materiałów kompozytowych termicznie optymalnych* poprawnie oddaje treść całej przedstawionej do oceny rozprawy. Uważam, że tematyka rozprawy była słusznie podjęta do rozpracowania, głównie ze względów praktycznych. Złożoność właściwości kompozytów jako materiałów powszechnie stosowanych, a zwłaszcza nowych wprowadzanych do produkcji wymaga badań naukowych. Te ostatnie, również same podlegają rozwojowi związanemu z kreowaniem nowych metodyk badawczych. Motywacje podjęcia przez doktorantkę badań w tej tematyce, cele i tezy rozprawy, opisane na stronach 26 i 27, wystarczająco jasno precyzują zamierzenia i metodologię badań w pracy doktorskiej.
W pracy o łącznej objętości 175 stron, wydzielono 10 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem, zamieszczono wykaz cytowanej literatury w porządku alfabetycznym oraz dołączono 1 Załącznik zawierający kod algorytmu hybrydowego. Do pracy dołączono również dyskietkę zawierającą całość rozprawy.
W rozdziale 1 nazwanym wstępem, Autorka podaje ogólną charakterystykę modelowania materiałów kompozytowych. Przedstawia tutaj zasadniczy zakres badań, koncentrujących się głównie na określaniu właściwości termiczno – mechanicznych kompozytów. W rozdziale tym, przedstawiony jest zestaw algorytmów optymalizacyjnych. Kończy ten rozdział przedstawienie celów i tez pracy. W rozdziale 2 Autorka skupia się na przedstawieniu różnych modeli kompozytów z uwypukleniem ich właściwości termicznych i mechanicznych. Rozdziały 3 i 4 poświęcono omówieniu metod optymalizacyjnych, zastosowanych w badaniach właściwości kompozytów, głównie termicznych. Rozdział 5 zawiera istotne dla treści rozprawy rozważania dotyczące modelowania właściwości termicznych i dynamicznych materiałów kompozytowych połączone z ustaleniem wstępnym funkcji celów. Rozdział 6 omawia stosowanie metod bez-gradientowych w zagadnieniach termicznych

kompozytów. Od tego, 6 rozdziału, zawarte są już konkretne oryginalne obliczenia. W rozdziale 6 przeprowadzono symulacje numeryczne, określające współczynnik przewodnictwa ciepła oraz brzegowe wartości temperatur. Wyniki te, istotne dla rozważań modelowych wyznaczają określone zakresy wartości parametrów. Rozdziały 7, 8 i 9 zawierają zasadnicze wyniki uzyskane przez Autorkę w pracy doktorskiej. W rozdziale 7 wykorzystano metody optymalizacji topologii faz w kompozycie dwufazowym oraz wpływ regularyzacji siatki elementów skończonych na wyniki optymalizacji. Rozdział 8 zawiera badania i ich wyniki odniesione do kompozytów typu sandwicz. Dla tego typu kompozytów przeprowadzono optymalizacje struktury z uwzględnieniem wpływu przewodności cieplnej oraz symulacyjne obliczenia funkcji celu, którymi były wartości energii termicznej i energii odkształcenia. Przeprowadzono również w tym rozdziale obliczenia symulacyjne optymalizacji wielokryterialnej. W rozdziale 9 Autorka przeprowadza analizę własności dynamicznych kompozytów dla których wstępnie przeprowadzono optymalizację termiczną. W tym celu badano struktury kompozytowe, termicznie optymalne ze względu na ich wartości częstości i postaci drgań własnych. Merytoryczną część rozprawy kończy rozdział 10 zawierający poszerzoną i wyczerpującą dyskusję dotyczącą otrzymanych w pracy doktorskiej wyników badań i obliczeń oraz wnioski.

Zestawienie Literatury zawiera 139 pozycji, w tym również 9 własnych, jako Autorki bądź współautorki. Pozycje te, trafnie dobrane i wykorzystane właściwie w realizacji pracy doktorskiej są publikacjami z ostatnich 19 lat. Jedynie 6 pozycji, głównie podręcznikowych jest starszych, ale mają one charakter uniwersalny i ponadczasowy. Materiał ilustracyjny obejmuje 169 rysunków i wykresów, a także 26 tabel w których zamieszczono wyniki obliczeń. Wykresy obliczeń numerycznych zamieszczono w grafice rastrowej.

Praca ma wybitnie charakter obliczeniowy i jak podano wcześniej koncentruje się na modelowaniu i optymalizacji właściwości kompozytów termiczno – dynamicznych. Wszystkie obliczenia symulacyjne wykonano w programie COMSOL Multiphysics.

W podsumowaniu tej części opinii stwierdzam, że praca obejmuje zagadnienia oryginalnie ujęte, a mianowicie modelowanie i optymalizację właściwości termiczno – dynamicznych kompozytów z użyciem najnowszych metod w obliczeniach numerycznych. Nie bez znaczenia jest fakt, że praca była wykonywana w środowisku akademickim uznanych specjalistów.
Według mnie:

a) Cele pracy zostały przedstawione jasno i we właściwym porządku. Nadrzędny cel pracy to optymalizacja właściwości termiczno –

dynamicznych modelu kompozytu w celu efektywnego odpływu ciepła w urządzeniach bądź obiektach generujących złożone stany termiczne.

b) Tezy pracy są zbiorem oczekiwań technologicznych, które Autorka weryfikuje na podstawie obliczeń numerycznych. Zasadniczo są one dosyć oczywiste, nie wymagają weryfikacji naukowych, jednakże, ze względu na ich ważne praktyczne znaczenie wymagają często oryginalnych technik obliczeniowych.
c) Zakres pracy jest dosyć obszerny, obejmuje analizę struktur 1D, 2D o właściwościach termicznych i dynamicznych. Na uwagę zasługują obliczenia symulacyjne optymalizacji wielokryterialnej.
d) Analiza literaturowa i wnioskowanie z własnych badań zostały przeprowadzone poprawnie. W szczególności wskazano sposoby badań w jaki sposób optymalizacja jednej właściwości wpływa na inne właściwości kompozytu.
e) O znaczeniu problematyki podjętej do badań w pracy doktorskiej mogą świadczyć rozległe obszary zastosowań nowych materiałów kompozytowych od których wymaga się ekstremalnych właściwości, często nie spotykanych w warunkach naturalnych.

2.Uwagi merytoryczne, dyskusyjne i edytorskie.

Streszczenie

Tekst streszczenia (w języku polskim) razi miejscami niestarannością nie tylko stylistycznego zapisu, błędami, ale również pewnym chaosem myślowym. Dotyczy to głownie niektórych kolejnych zdań, między którymi brak logicznego powiązania. Tekst streszczenia robi wrażenie, że był pisany w pośpiechu, bez późniejszego sprawdzenia. Irytujące jest pisanie, zresztą w całym tekście rozprawy: metoda elementów skończonych (MES), czasem tylko MES, czasem w pełnej nazwie. Powszechna uznana nazwa to MES i wszyscy wiedzą o co chodzi. Dowodem nieprecyzyjnego zapisu jest np. w celach pracy.: (cytuję) - zastosowanie projektowania obliczeniowego do uzyskania kompozytu, chodzi przecież o uzyskanie *informacji* o *modelu* kompozytu, - metody obliczeniowe dają większe **możliwość** - chyba jednak możliwości, ale przede wszystkim możliwości – czego?, w Tezie pracy (str.5 i 27) zapisano – średnia wartość energii....(itd.)....są lepsze niż w klasycznych..., słowo lepsze jest tutaj zupełnie nie uprawnione. W miejsce tego słowa powinna się pojawić opisowa charakterystyka cech właściwości rozmaitych kompozytów. Zapisano również - po otrzymaniu struktury kompozytu ...chodzi o model kompozytu, jak również -

wykreślenie amplitudy...wykreślenie postaci drgań..., samo wykreślenie funkcji nie jest osiągnięciem, istotę stanowią obliczenia.

1) Wstęp

W tekście wstępu zauważa się również szereg niedociągnięć stylistycznych, literowych i logicznych.. Irytujące jest używanie slangu - waga pojazdu, zamiast ciężar, inżynieria praktyczna, tłumaczenie z angielskiego słowa graded jako gradientowy nie jest właściwe. Cały szereg błędów, które tu nie wypisuję zaznaczyłem w tekście i mogę pokazać Autorce, chyba, że sama je wcześniej zauważy.

2) Materiały kompozytowe

W tekście użyto terminów: ...wysokie właściwości izotropowe..., są tylko właściwości izotropowe bądź anizotropowe (jeżeli chodzi o typ materiałów o których mowa w rozprawie), materiał konstrukcyjny ... .posiadający **niską masę,** to sformułowanie **niska masa** pojawia się również dalej w tekście. Str.43 wiersz 7d, co oznacza sformułowanie ....przepływającym przez przekrój dA?.

3) Metody optymalizacyjne

Rozdział ten zawiera przegląd szeregu metod optymalizacyjnych. Niektóre omówione metody są zbędne, gdyż nie znajdują zastosowania na użytek niniejszej pracy. Istotną jest niewątpliwie omówiona dość dokładnie metoda SNOPT. W tym również rozdziale Autorka nie uniknęła potknięć stylistycznych i irytujących błędów literowych, dziwacznie zwłaszcza brzmi...metody stało krokowe. Sformułowania slangowe numeryków ...warunki stopu, warunek stopu..., wobec faktu zastosowania i omawiania w rozdziale 7 mosiądzu jako stopu winna Autorka zręczniej używać.

4) Optymalizacja topologii i problem odwrotny

W przedstawionym w tym rozdziale przeglądzie optymalizacji topologii Autorka posługuje się informacjami ogólnymi o tej metodzie, które głównie dotyczą analizy struktury geometrycznej w przestrzeni projektowej. Jako szczególne, wykorzystywane w pracy doktorskiej metody tej optymalizacji topologii, Doktorantka w miarę dokładnie przytacza metodę SIMP oraz metodę RAMP. Obie te metody interpolacyjne w klasycznych już zastosowaniach odnoszą się głównie do

optymalnego kształtowania konstrukcji w sensie struktury geometrycznej. Wymaga to, aby powstający w procesie interpolacyjnym w przestrzeni projektowej materiał zastępczy miał odpowiednio zdefiniowane właściwości mechaniczne jak: współczynnik Poissona, moduł Younga czy gęstość. Ponieważ istotną nowością, stanowiącą ewentualnie o oryginalnych osiągnięciach tej pracy jest optymalizacja topologii właściwości termicznych, Autorka nie wyczerpała możliwości przedstawienia głębszej i szerszej swojej opinii (być może i własnych pomysłów) o poszerzenie metody SIMP (i RAMP) na ten obszar optymalizacji. Przedstawione są wprawdzie funkcje interpolacyjne przewodności cieplnej (4.1.1.a i 4.1.2.1), współczynnika Poissona (4.1.1.2) oraz w następnym rozdziale macierzy sztywności (5.2.4.4) ale raczej tylko formalnie, z powołaniem się na literaturę [Ben.2003], bez własnych komentarzy. Również w tym rozdziale Doktorantka nie uniknęła uchybień. Stylistyczne i literowe błędy zaznaczyłem w tekście.
Natomiast zapis ...Główną ideą MES jest zamiana dowolnej wielkości ciągłej...na model dyskretny...nie oddaje głównej cechy MES, ta zamiana leży u podstaw każdej metody numerycznej. Strony 70 pojawiają się dwukrotnie.

5) Modelowanie właściwości termicznych i dynamicznych w materiałach kompozytowych

Ten rozdział zawiera opis wielkości i praw fizycznych, które dotyczą tematyki rozprawy. Są to zatem zagadnienia, które w odniesieniu do materiałów kompozytowych wymagają modelowania z użyciem narzędzi obliczeń numerycznych. Rozdział ten podzielony jest na dwie części, z których pierwsza zawiera dyskusję na temat właściwości termicznych materiałów oraz procesów cieplnych, druga zaś dotyczy właściwości dynamicznych materiałów oraz praw ruchu w ciele odkształcanym. Przeprowadzana dyskusja o modelowaniu, aby zdefiniować funkcje celu w zasadzie jest prawidłowa, chociaż Autorka nie uniknęła pewnych niezręczności. Co oznacza bowiem .... przepływ substancji w postaci energii kinetycznej, potencjalnej lub entalpii (przypomnienie: entalpia jest funkcją stanu)? Co oznacza ....Ω odnosi się do rozważanej domeny?.
Rozważania dotyczące całkowitej średniej energii termicznej (5.1.3.2) i wyznaczanej przy jej pomocy funkcji celu (5.1.3.3) oznaczają, że jest ona (energia) wyrażana w jednostkach J/kg, a więc energią odniesioną do jednostki masy. Rozważania dotyczące całkowitej energii odkształcenia i funkcji celu - średniej energii odkształcenia oznaczają, że jest ona wyrażana jednostkach J/m^3 (str. 86 i 87, wzory (5.2.4.1), (5.2.4.2)). Jaki wpływ na dalsze obliczenia ma ten fakt? Opis właściwości dynamicznych materiałów wraz z ustaleniem funkcji celu jakim jest całkowita energia

odkształcenia zasadniczo przeprowadzono poprawnie. Drobne uchybienia to: str.83. w8g – naprężenia działają w punkcie?, str.85, wzór (5.2.2.5) nie jest równaniem, a tylko wyliczoną pochodną z funkcji (5.2.2.8), która jest rozwiązaniem równania ruchu (5.2.2.10). Str.85, w.11-10d, co oznacza sformułowanie - ....wyznaczenie odpowiedzi układu na wymuszenie harmoniczne w postaci krzywej? Opisowy tekst dotyczący częstości i postaci drgań własnych wymaga korekty. Str.85, w8d – równanie (5.2.2.10) nie zostało uproszczone! Zostało przekształcone do postaci (5.2.3.1). przy czym w tym ostatnim dwa pierwsze zapisy są absolutnie zbędne. Wielkość zdefiniowana Λ, która jest rozwiązaniem równania wiekowego (5.2.3,2) ma trzy wartości Λ^{α} (α=1,2,3) i nazywa się **wartości własne**. Str. 86 w3g - Λ **nie nazywa** się naprężeniem głównym, naprężeniami głównymi **są** $\Lambda^{\alpha}u^{\alpha}_{j}$, natomiast zapis str.86 w8g - Λ_j stanowią (?) kwadraty częstości jest błędny, Λ nie jest wektorem. Str. 86 w14-15g co oznacza sformułowanie – siła nagromadzona w materiale .. ....jest nazywana energią odkształcenia?

6) Wykorzystanie metod bez-gradientowych w problemach termicznych

W rozdziale tym przedstawiono obliczenia symulacyjne przewodnictwa ciepła w modelowych ośrodkach 1D i 2D. Owocną tutaj okazała się w obliczeniach metoda Nelder - Mead`a z użyciem MES. Wyniki zilustrowano w tabelach i na wykresach. Zauważalna nieścisłość na str.89 w7g jest również powtórzona w pracy [Nie2012b], w której wyniki tego rozdziału zostały opublikowane.

7) Optymalizacja struktury kompozytu

Wyniki badań w tym i w następnych dwóch rozdziałach należą do najistotniejszych oryginalnie zrealizowanych w przedłożonej pracy doktorskiej

Rozważania doktorantki w tym rozdziale dotyczyły analizy modelu 2D. Jako funkcje celu przyjęto w analizie średnią wartość temperatury, średnią wartość modułu gradientu temperatury oraz średnią wartość energii termicznej. Symulacje komputerowe prowadzono w oparciu o dobrze uprzednio opisaną metodę optymalizacyjną SNOPT z użyciem modelu SIMP. Odnośnie tytułu tego rozdziału, żeby nie budził on wątpliwości, należy zaznaczyć, że chodzi głównie o strukturę właściwości kompozytu a nie kształtu. Jako modele kompozytów przyjęto geometryczne dwie struktury: pierścień (chociaż raczej jest to tarcza kołowa z centrycznym kołowym otworem) oraz tarcza kwadratowa z

centrycznym otworem kwadratowym. Kompozyty o tej strukturze symulowano w różnych układach z zadanymi warunkami brzegowymi typu Fouriera i Dirichleta. Otrzymane wyniki przedstawione w tabelach i na rysunkach budzą zaufanie. Chciałbym jednak uzyskać wyjaśnienie Autorki odnośnie używanych przez nią bez-masowych jednostek energii termicznej. Również interesuje mnie interpretacja dlaczego dla zagadnień osiowosymetrycznych wyniki na rysunkach nie są symetryczne, brak symetrii oznacza być może nieoptymalne rozwiązania.

8) Optymalizacja struktury układów typu sandwich

W tej części pracy Autorka dokonywała obliczeń symulacyjnych optymalizacji właściwości termicznych i mechanicznych dla struktur kompozytów warstwowych, Funkcjami celu dla poszczególnych właściwości były odpowiednio średnia masowa gęstość energii termicznej oraz średnia objętościowa gęstość energii odkształcenia. Wyniki obliczeń dla różnych postulowanych wartości przewodnictwa ciepła zamieszczono w tabelach i na rysunkach w grafice rastrowej. Na stronach 122, 123 i 124 użyte są sformułowania - energia wewnętrzna- które traktuję jako brak konsekwentnego nazywania odpowiednio energią termiczną? Interesujące jest w tym rozdziale przedstawienie funkcji celu w postaci bezwymiarowej wyważonej energii łącznie dla zagadnień termicznych i mechanicznych. Postulowane wagi w_t i w_s mają swoje wymiary. W obliczeniach Autorka ograniczyła się tylko do przyjęcia wartości liczbowych wag. Zabrakło tutaj krótkiej choćby dyskusji i uzasadnienia dla fizykalnego znaczenia proporcji między tymi wagami, które to znaczenie w wynikach obliczeń symulacyjnych się ujawnia. Należy podkreślić jednak staranność prowadzonych obliczeń symulacyjnych, które ze względu na schemat interpolacyjny SIMP wymagał wcześniejsze odpowiednie ujęcia stałych materiałowych. Słabą stroną tego rozdziału jest jednak brak elementarnego komentarza dotyczącego szeregu wyników obliczeń np. strona130 w6-7g – na rysunku 8.2.2.3 zaprezentowano rozkład przemieszczeń w płycie, następnie przedstawiono 3 rysunki bez komentarza. Jest to powtarzający się mankament w pracy. Pragnę zauważyć, że praca doktorska dotyczy zagadnień z mechaniki, a nie zagadnień z technik obliczeń numerycznych.

9) Właściwości dynamiczne struktur termicznie optymalnych

Wyniki poprzedniego rozdziału zasugerowały Autorce podejście korelacyjne do analizy właściwości termicznych i mechanicznych kompozytów. W tym celu Doktorantka dokonała dwuetapowego

podejścia. W pierwszym etapie dokonała optymalizację termiczną struktury 2D, następnie przeprowadziła symulacyjne obliczenia dla trzech rodzajów płyt warstwowych, dotyczące właściwości dynamicznych płyt. Analiza dynamiczna dotyczyła wyznaczenia częstości i postaci drgań własnych płyt. Przeprowadzone obliczenia nie budzą zastrzeżeń. Chciałem tylko zauważyć, że pisanej w języku polskim rozprawie niektóre rysunki winny być opisane w tym samym języku. Rysunki w tym rozdziale i poprzednim opisane są po angielsku i są identyczne z tymi, które są zamieszczone w publikacjach anglojęzycznych Autorki. Dodatkowo, zauważyłem w publikacji Autorki podane są jednak wartości częstości własnych w Hz, natomiast w rozprawie doktorskiej nie ma nawet wzmianki o jednostkach otrzymanych wartości częstości własnych.

9) Podsumowanie i wnioski

Dyskusja zbiorcza obejmuje ogólne podsumowanie wykonanych w rozprawie doktorskiej badań i obliczeń. Kończą je interesujące wnioski dotyczące możliwości zastosowań przeprowadzonych badań (i metod) do praktyki inżynierskiej.

W podsumowaniu tej części rozprawy chcę zauważyć, że cały szereg uchybień stylistycznych i potknięć merytorycznych byłby nieaktualny, gdyby Autorka rozprawy po jej wydrukowaniu, przeczytała ją z należną uwagą.

3.Osiągnięcia naukowe i badawcze pracy

W świetle analizy wyników badań, obliczeń i przedstawionych wniosków w rozprawie, jako osiągnięcia można wymienić:

- opracowanie metody optymalizacji topologii właściwości termicznych i mechanicznych dla modelowych struktur kompozytowych
- opracowanie metody optymalizacji topologii struktur modeli kompozytów typu sandwich, która w połączeniu z optymalizacją właściwości termicznych może służyć do budowy elementów chłodzących w urządzeniach generujących szkodliwe ciepło
- opracowanie metody wyważania cząstkowych wpływów poszczególnych właściwości termicznych i mechanicznych modeli struktur kompozytowych, która w efekcie może dać możliwość kontrolowanego kreowania globalnych właściwości takich modelowych struktur kompozytowych. To ostatnie osiągnięcie po odpowiednim opracowaniu mogłoby okazać się, być może, godnym opatentowania.

4. Końcowa ocena pracy

Na podstawie analizy treści rozprawy, podjętych w niej do badań problemów, a także zastosowanych właściwych metod do ich rozwiązania i uzyskanych wyników stwierdzam, że *ogólna ocena pracy jest pozytywna*

Na takie stanowisko składają się fakty:

1. Opiniowana praca dotyczy ważnych i aktualnych problemów technicznych, związanych głównie z projektowaniem nowych struktur kompozytowych
2. Zadania badawcze, obliczenia numeryczne i końcowe analizy zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metodologicznym
3. Praca wnosi nowe wartościowe informacje o możliwościach poszerzenia klasycznych już metod obliczeniowych na nowe obszary badań
4. Uzyskane rezultaty w pracy mogą posłużyć do wykorzystania w praktyce.

Autorka rozprawy wykazała się w trakcie jej realizacji:

1. Przygotowaniem do samodzielnego przeprowadzenia modelowania i obliczeń dotyczących alternatywnych właściwości struktur kompozytowych
2. Umiejętnością formułowania problemów badawczych, doboru właściwej metodyki badań i umiejętnością wnioskowania
3. Szeroką wiedzą z zakresu mechaniki materiałów i technik obliczeniowych
4. Umiejętnością korzystania z literatury technicznej i naukowej.
5. Znaczącym dorobkiem naukowym w postaci 10 publikacji, które są mi znane.

Na podstawie powyższych uzasadnień wyrażam opinię, że rozprawa doktorska pt.: *Modelowanie i analiza MES właściwości dynamicznych materiałów kompozytowych termicznie optymalnych,* której Autorką jest mgr inż. Maria Nienartowicz spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. Dz. U. Nr 65, Art.13.1 z dnia 16.04.2003r.) i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.