

Wrocław, 23.02.2019

Prof. dr hab. inż. Dariusz Łydźba  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechnika Wrocławska

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Majewskiego „Reprezentacja cech morfologicznych mikrostruktury w mikromechanicznych modelach materiałów kompozytowych”**

**Podstawa opracowania recenzji:** pismo dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego, Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, z dnia 17.12.2018.

### **1. Uwagi ogólne**

Recenzowana rozprawa dotyczy zagadnienia modelowania makroskopowych właściwości materiałów kompozytowych w terminach ich właściwości mikrostrukturalnych. W pracy stosowane są podejścia: analityczne – bazujące na wzorcach morfologii oraz analitycznych procedurach Schematu Samozgodnego i Uogólnionego Schematu Samouzgodnego jak również numeryczne – bazujące na symulacjach Metodą Elementów Skończonych dla wygenerowanych Statystycznych Elementów Objętości. Analizowane są makroskopowe właściwości: termiczne – przewodność cieplna oraz sprężyste – moduły sprężystości. W rozważaniach uwzględniono deformacje nieliniowe – dokonano oceny jakościowej i ilościowej makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej materiału kompozytowego w teście izochorycznego rozciągania. Rozważania ograniczono do kompozytów makroskopowo izotropowych, tj. bez obecności kierunków „uporządkowania”.

Zagadnienie predykcji makroskopowej odpowiedzi losowego materiału mikro-niejednorodnego jest, pod względem naukowym, zagadnieniem trudnym i złożonym. Główna trudność jest konsekwencją tego, że do pełnego/idealnego opisu losowego ośrodka mikro-niejednorodnego konieczne jest zastosowanie nieskończonej liczby miar mikrostrukturalnych, np. nieskończonej sekwencji prawdopodobieństw n-punktowych. W zastosowaniach potrzebne są więc uproszczenia, np. wykorzystanie analitycznych sformułowań modeli mikromechanicznych uwzględniających tylko wybrane miary mikrostrukturalne lub homogenizacji numerycznej bazującej na „skończonej”, dostatecznie małej aby była obliczeniowo efektywna, objętości Reprezentatywnego Elementu Objętości.

Rozważany w dysertacji doktorskiej problem jest więc: interesujący, ważny, aktualny i trudny. Ujęcie zagadnienia przedstawiono w pięciu rozdziałach. W pierwszym rozdziale, mającym charakter wprowadzająco-informacyjny, omówiono aktualny stan wiedzy oraz sformułowano cel i zakres rozprawy. Kolejne trzy rozdziały prezentują oryginalne analizy i wyniki autora recenzowanej dysertacji, tj.:

przedstawiono sformułowanie modelu morfologicznej reprezentacji mikrostruktury kompozytu wraz z jego zastosowaniem do oceny makroskopowej odpowiedzi materiału kompozytowego, omówiono podstawy homogenizacji numerycznej wraz z procedurą generowania pseudo-losowych Statystycznych Elementów Objętości oraz dokonano weryfikacji jakości/poprawności oszacowań z zaproponowanego modelu analitycznego porównując je z wynikami z homogenizacji numerycznej oraz wynikami badań doświadczalnych.

Cała praca wraz ze spisem treści, wykazem symboli i oznaczeń oraz spisem literatury (129 pozycji) liczy łącznie 115 stron. Praca napisana jest w języku polskim.

## 2. Treść pracy

Obecnie omówię krytycznie treść pracy.

Rozdział 1 W rozdziale tym autor przedstawia, w sposób bardzo skondensowany, najpierw istotę przedmiotowego zagadnienia a następnie aktualny stan wiedzy. W przeglądzie koncentruje się na omówieniu podstawowych mikromechanicznych modeli analitycznych bazujących na rozwiązaniu Eshelby'ego pojedynczego elipsoidalnego wtrącenia oraz rozwiązaniu tzw. kompozytowej sfery „zanurzonych” w nieskończonym ośrodku. Wyszczególnia schematy: samozgodny, uogólniony samozgodny, aproksymacyjny Mori-Tanaki oraz różnicowy i przyrostowy. Uwzględniają one tylko podstawowe informacje strukturalne: udział frakcyjny wtrąceń, kształt wtrąceń oraz brak kierunków uporządkowania czyli makroskopową izotropię. Następnie autor przywołuje również „sztandarowe” schematy mikromechaniczne uwzględniające miary strukturalne wyższych rzędów jak te zaproponowane w pracach: Ponte Castañedy i Willisa oraz Krönera i Kocha. Szczególną uwagę autor poświęcił wynikom uzyskanym z wykorzystaniem koncepcji reprezentacji cech morfologicznych mikrostruktury za pomocą wzorców. Jest ona podejściem hybrydowym w sensie, że wykorzystuje uogólniony schemat samozgodny oraz schemat samozgodny. Efekt upakowania cząstek oraz rozmiaru cząstek, w tym podejściu, uwzględnia się poprzez wykorzystanie sfery kompozytowej w której grubość płaszcza z materiału matrycy jest miarą średniej odległości między cząsteczkami w materiale kompozytowym a rozmiar cząstek uwzględnia się poprzez wprowadzenie dodatkowej fazy na granicy komponentów, tj. między wtrąceniem a osnową. Wymienia następnie zagadnienia które rozwiązano z wykorzystaniem tego podejścia. Stwierdza, że metoda reprezentacji cech morfologicznych mikrostruktury nie została jeszcze zastosowana do oceny efektywnej przewodności cieplnej oraz makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej.

W podsumowaniu tego rozdziału autor formułuje zakres i tezę pracy. W szczególności zakres pracy tworzą:

- opracowanie mikromechanicznego modelu morfologicznej reprezentacji mikrostruktury kompozytu do oceny efektywnej przewodności cieplnej, efektywnych modułów sprężystości oraz makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej,
- opracowanie metodologii weryfikacji zaproponowanych modeli analitycznych wykorzystując technikę homogenizacji numerycznej,
- studium wpływu cech strukturalnych: upakowanie oraz rozmiar wtrąceń na makroskopowe właściwości kompozytu,

natomiast tezą jest:

„Model morfologicznej reprezentacji mikrostruktury kompozytu jest efektywny obliczeniowo i pozwala poprawnie opisać wpływ rozmiaru i przestrzennego upakowania wtrąceń oraz efekt granicy międzyfazowej na makroskopową przewodność cieplną oraz sprężysto-plastyczną odpowiedź materiału kompozytowego. Homogenizacja numeryczna jest istotnym narzędziem do weryfikacji formułowanych analitycznych modeli mikromechanicznych”  
Rozdział napisany jest zwięźle i jasno. Nie mam uwag krytycznych.

Rozdział 2 prezentuje już oryginalne rozwiązania autora. Na wstępie autor omawia, podstawy metody morfologicznej reprezentacji mikrostruktury kompozytu za pomocą wzorców. Następnie formułuje podejście mikromechaniczne morfologicznej reprezentacji mikrostruktury w zastosowaniu do oceny efektywnej przewodności cieplnej, efektywnych modułów sprężystości oraz jej modyfikacji w postaci sformułowania przyrostowego z procedurą linearyzacji do oceny makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej. W sformułowaniu metody morfologicznej reprezentacji mikrostruktury wykorzystuje dwa wzorce, tj. kompozytową sferę „zanurzoną” w nieskończonym ośrodku o właściwościach efektywnych kompozytu oraz sferę o parametrach osnowy „zanurzoną” w nieskończonym ośrodku o właściwościach efektywnych kompozytu. Morfologiczny parametr przestrzennego upakowania wtrąceń modelowany jest poprzez przyjęcie w sferze kompozytowej płaszcza, o parametrach osnowy, o grubości proporcjonalnej do średniej odległości między parami sąsiadujących wtrąceń. Efekt rozmiaru wtrąceń uzyskiwany jest, w proponowanym podejściu, w dwojaki sposób: poprzez przyjęcie w modelu sfery kompozytowej powierzchni nieciągłości w postaci interfejsu, na granicy między sferycznym wtręceniem a płaszczem osnowy, lub poprzez przyjęcie dodatkowego płaszcza o zadanej grubości, tzw. międzyfazy, między sferycznym wtręceniem a płaszczem osnowy. Związek konstytutywny dla międzyfazy jest analogiczny jak dla pozostałych składników kompozytu jednak jej stałe materiałowe są odmienne od właściwości materiału wtręcenia oraz materiału osnowy. W przypadku zagadnienia przewodności cieplnej, do modelowania interfejsu, autor wykorzystuje związek konstytutywny z parametrem materiałowym zwanym oporem cieplnym Kapitzy. W przypadku zagadnienia sprężystości jako stałe materiałowe interfejsu wykorzystuje dwie stałe podatności: w kierunku normalnym do powierzchni interfejsu oraz w kierunku stycznym. W sformułowaniu metody przyrostowej, do oceny makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej kompozytu, autor przyjmuje związki liniowej sprężystości dla wtrąceń oraz związki konstytutywne sprężysto-plastyczności dla osnowy, z warunkiem plastyczności w postaci kryterium Hubera-Misesa z izotropowym wzmocnieniem oraz stowarzyszonym prawem plastycznego płynięcia.

Wykorzystując zaproponowane sformułowania autor wykonał szereg obliczeń parametrycznych celem przedstawienia jakości otrzymanych predykcji w funkcji zastosowanych parametrów mikrostrukturalnych. Modele morfologicznej reprezentacji mikrostruktury indukują predykcje odpowiedzi makroskopowej w „obszarze” między predykcjami ze schematu samozgodnego oraz uogólnionego schematu samozgodnego.

Rozdział napisany przejrzysto. Nie mam krytycznych uwag merytorycznych. Poniżej wymieniamy dostrzeżone błędy edycyjne, tj.: podpisowi pod rysunkami: 2.6, 2.10, 2.11 proponuję nadać brzmienie „... stosunek efektywnego współczynnika



przewodzenia ..." zamiast "...stosunek efektywnego przewodzenia..."; w związkach (2.6) gęstość strumienia ciepła jest wektorem więc zastosowanie dwóch indeksów jest niepotrzebne a może być mylące; na stronie 28, w czwartym wierszu od dołu oraz drugim od dołu jest odwołanie odpowiednio do Rys. 2.10a oraz 2.10b a powinno być odwołanie do Rys. 2.11a oraz Rys.2.11b.

Rozdział 3 prezentuje metodę homogenizacji numerycznej stosowaną przez autora w kolejnym rozdziale pracy do weryfikacji przydatności sformułowanych wcześniej analitycznych modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury.

Homogenizacja numeryczna polega, w ogólności, na rozwiązaniu numerycznym zagadnienia brzegowego lub brzegowo-początkowego sformułowanego dla tzw. Reprezentatywnego Elementu Objętości (RVE) a następnie objętościowym uśrednieniu otrzymanego rozwiązania. Kluczowym w procedurze homogenizacji numerycznej jest przyjęcie: właściwej wielkości RVE, który musi być odpowiednio duży aby zawierał większość możliwych realizacji mikrostruktury analizowanego ośrodka kompozytowego, oraz odpowiednich warunków brzegowych na granicach RVE – reszta materiału. W pracy przyjęto klasyczne warunki periodyczności zatem RVE może być utożsamiane z tzw. komórką periodyczności stosowaną w homogenizacji struktur periodycznych. W obliczeniach numerycznych autor proponuje wykorzystanie dwóch, jakościowo różnych, klas komórek periodyczności: regularną oraz losową. Jako regularne komórki periodyczności wykorzystywane będą w obliczeniach trzy typy: prosty (RC), przestrzennie centrowany (BCC) oraz ściennie centrowany (FCC), układy analogiczne jak w sieciach krystalograficznych. Komórki „losowe” uzyskiwane będą w wyniku ich numerycznej generacji bazującej na metodzie DEM (Discrete Element Method), algorytmu RSA (Random Sequential Addition) w programie Yade. W rozdziale szczegółowo omówiono wykorzystywaną procedurę generacji. Przyjęto, że periodyczna komórka „losowa”, aby była reprezentatywna, powinna zawierać co najmniej 50 wtrąceń sferycznych. Tę „krytyczną” wartość liczby wtrąceń sformułowano poprzez weryfikację jakości „odtworzenia” mikrostrukturalnej miary wyższego rzędu, tj. prawdopodobieństwa 2-punktowego. Obliczenia numeryczne będą prowadzone metodą elementów skończonych w programie AceFEM. Rozdział ten zilustrowano wynikami homogenizacji numerycznej zrealizowanymi dla periodycznych komórek regularnych, w których oceniono wartość efektywnego modułu ścinania. Rozważono „skrajne” kombinacje tych mikrostruktur, tzn. kompozyt dwufazowy z fazą twardą i miękką oraz kompozyt ze sztywnymi wtrąceniami lub pustkami.

Rozdział napisany poprawnie ale w sposób, zdaniem recenzenta, zbyt skondensowany. Nie znalazłem błędów merytorycznych a pewne „niedopowiedzenia” które wyszczególniono poniżej, tj.:

- warunki periodyczności nie zapewniają jednoznaczności rozwiązania. Jednoznaczność rozwiązania zapewniona jest jedynie w przestrzeni ilorazowej, czyli jednoznaczność rozwiązania jest z dokładnością do stałej jako „ruchu bryły sztywnej”. Do obliczeń numerycznych konieczne jest więc wprowadzenie dodatkowych „więzów” które autor dysertacji zapewne wykorzystał ale ich nie przedstawił,
- nie przedstawiono jak numerycznie wyznaczano funkcje prawdopodobieństwa 2-punktowego. Dla periodycznych komórek losowych warunków periodyczności „zaburza” nawet drastycznie ich przebieg, są one periodyczne z okresem  $r=L$  –

powinno więc to już być wyraźnie widoczne dla  $r/L > 1/2$ ; w pracy wykresy tej funkcji przedstawione są aż dla  $r/L = 0.8$  i brak jest tych „zaburzeń”,

- o na stronie 46 napisano: „... w komórce znajduje się wiele cząstek to losowa mikrostruktura jest w przybliżeniu izotropowa i ergodyczna” – sprawdzenie izotropii można łatwo zrealizować poprzez ocenę wartości efektywnych w różnych orientacjach. Problem jest niestety nietrywialny w zastosowaniu do weryfikacji „ergodyczności” – można np. dokonać porównania zgodności uśrednień objętościowych z „wartościami oczekiwanymi”. Niestety w pracy jest brak nawet krótkiego komentarza,
- o szkoda, że w pracy nie przedstawiono wyników numerycznych parametru upakowania dla każdej z wygenerowanej losowej komórki periodyczności; rozrzut wyników mógłby pozwolić, dla zadanej wielkości komórki periodyczności, ocenić konieczną liczebność próby aby estymator wartości średniej był reprezentatywny dla wartości oczekiwanej. W pracy zagadnienie liczebności próby w ogóle nie jest rozważane – brak jest chociażby przywołania tak do Centralnego Twierdzenia Granicznego lub nierówności Chebysheva. W przypadku analizy ośrodków losowych jest to pewien mankament pracy.

Rozdział 4 poświęcono weryfikacji i walidacji zaproponowanych modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury przez porównanie ich predykcji z rezultatami homogenizacji numerycznej oraz wynikami badań doświadczalnych. Analizowano efektywny współczynnik przewodności cieplnej, efektywne moduły sprężystości oraz makroskopową odpowiedź sprężysto-plastyczną w teście izochorycznego rozciągania.

Pierwszy podrozdział tej części pracy porównuje, głównie, wyniki predykcji modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury z wynikami homogenizacji numerycznej dla periodycznych komórek regularnych, tj. RC, BCC oraz FCC. Wyniki homogenizacji numerycznej dla periodycznych komórek regularnych znajdują się, generalnie, poniżej predykcji uzyskanych z modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury z wyjątkiem, dla wybranych orientacji, makroskopowej odpowiedzi sprężysto-plastycznej.

Podrozdział 4.2 adresuje zagadnienie oceny progu perkolacji. W tym celu stosowane są analityczne modele mikromechaniki z wtrąceniami w postaci pustek lub tzw. super wtrąceń charakteryzowanych przez stałe materiałowe o wartościach zdążających do nieskończoności. W konsekwencji oceniono udziały frakcyjne reprezentujące progi perkolacji.

Szczególnie wartościowy jest podrozdział 4.3 w którym dokonano porównania predykcji homogenizacji numerycznej dla periodycznej komórki losowej z predykcją uzyskaną z modeli: schemat samozgodny, uogólniony schemat samozgodny oraz model morfologicznej reprezentacji mikrostruktury. Wyniki homogenizacji numerycznej reprezentują realizacje pseudolosowe 100 periodycznych komórek. Przy generacji periodycznych komórek losowych „sterowano” wartością parametru upakowania, utrzymując równocześnie stałą wartość udziału frakcyjnego, uzyskując w konsekwencji predykcje w funkcji parametru upakowania. Podobnie jak w podrozdziale 4.1, predykcje z homogenizacji numerycznej „leżą” poniżej predykcji z modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury. Należy jednak podkreślić „jakościową” zgodność przebiegu porównywanych predykcji.

W kolejnym podrozdziale analizie poddano predykcje uwzględniające wpływ rozmiaru wtrąceń. Tym razem do modeli mikromechanicznych „wprowadzono” międzyfazę.

Porównano predykcje uzyskane z modeli analitycznych z wynikami homogenizacji numerycznej dla periodycznych komórek regularnych. Potwierdzono efektywność modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury do modelowania kompozytów manifestujących efekt rozmiaru wtrącenia w ich makroskopowej odpowiedzi.

Ostatni podrozdział tej części pracy to porównanie predykcji modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury z wynikami badań doświadczalnych. Wykorzystano wyniki badań doświadczalnych prezentowane w literaturze przedmiotu dla kompozytów: z wtrąceniami z tlenku glinu w osnowie polimerowej, z wtrąceniami z materiału SCAN (Silica-Coated Aluminium Nitride) lub z glinki w osnowie żywicy epoksydowej. Wykorzystano wyniki badań doświadczalnych efektywnego współczynnika przewodności cieplnej oraz wartości efektywnego modułu Younga. Wykonane porównania potwierdzają „zdolność” modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury, zaproponowanych w niniejszej pracy, do poprawnej predykcji makroskopowej odpowiedzi materiałów kompozytowych. Dokumentują to wyniki przedstawione na rysunkach 4.18, 4.19 oraz 4.20 .

Ostatnim kompozytem analizowanym w pracy jest spiekany materiał na bazie związku międzymetalicznego NiAl, który domieszkowano tlenkiem glinu  $Al_2O_3$  w dwóch granulacjach: mikro- oraz nanoproszek. W tym przypadku, przed ostatecznym porównaniem wyników, dokonano szczegółowego opisu wykonanych w laboratoriach identyfikacji właściwości strukturalnych oraz makroskopowych tego materiału. Do opisu makroskopowej odpowiedzi zaproponowano trójskalowy uogólniony schemat samozgodny. W pierwszej skali założono w fazie  $Al_2O_3$  obecność twardej międzyfazy o grubości osnowy równej 1 [nm]. Wykorzystując uogólniony schemat samozgodny dokonano oceny właściwości efektywnej tego materiału który następnie przyjęto, w kolejnej skali, jako parametry płaszcza otaczającego wtrącenie z materiału NiAl. Ponowne zastosowanie uogólnionego schematu samozgodnego dla takiej sfery kompozytowej pozwoliło ocenić wartość efektywnego modułu Younga analizowanego kompozytu. W konsekwencji uzyskano, ujawnione w badaniach laboratoryjnych, zróżnicowanie wartości efektywnego modułu Younga w zależności od zastosowanego zbrojenia w postaci mikro- oraz nanoproszku.

Jest to bardzo wartościowy rozdział ocenianej pracy. Wykonane porównania homogenizacji numerycznej z predykcją z modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury pozwoliły zidentyfikować autorowi „mocne” i „słabe” strony proponowanych sformułowań analitycznych. Wykonana walidacja zaproponowanych modeli przez porównanie z wynikami badań laboratoryjnych potwierdziła przydatność sformułowanych w pracy modeli analitycznych. Rozdział napisany jest bardzo czytelnie.

Uwagi krytyczne dotyczą jedynie dwóch aspektów rozważań przedstawionych w tym rozdziale, tj.:

- o autor analizując wyniki homogenizacji numerycznej przedstawione na Rys. 4.15b stwierdza „...wyniki około 100 realizacji SVE pozwalają oszacować trend charakteryzujący wpływ parametru upakowania...”- zdaniem recenzenta jest to stwierdzenie zbyt „optymistyczne”, gdyż uzyskany „rozzut” wyników pozwala postulować bardzo wiele różnych funkcji trendu. Przedstawione wykresy można również, zdaniem recenzenta, zinterpretować jako wskazujące, że parametr upakowania jest zbyt „ubogi” aby wystarczająco dobrze modelować odpowiedź materiału. Przy tak dużym „rozzrucie” wyników potwierdzenie funkcji trendu



wymaga zwiększenia ilości realizacji SVE czyli powiększenia liczebności próby. Trend można wtedy zidentyfikować oznaczając, dla odpowiednich wartości parametru upakowania, estymatory wartości oczekiwanej.

- o analizując materiał kompozytowy na bazie NiAl, zbrojony mikro- i nanocząstkami, autor postuluje podwójne wykorzystanie uogólnionego schematu samozgodnego. W pierwszym kroku wykorzystuje kompozytową sferę z ustaloną, niezmienną, grubością międzyfazy. Niestety uogólniony schemat samozgodny musi „wypełnić” całą przestrzeń sferami kompozytowymi a to implikuje konieczność sukcesywnego pomniejszania tej sfery poprzez transformacje jednokładne. Nie można więc „utrzymać” stałej grubości międzyfazy. W modelowaniu zachowany jest jedynie udział frakcyjny międzyfazy. W dokonanej w pracy analizie, zróżnicowanie wartości efektywnego modułu Younga w funkcji rozmiaru cząstek, należy więc interpretować jako konsekwencję różnego udziału frakcyjnego międzyfazy.

### 3. Ocena pracy

Recenzowana praca dotyczy zagadnienia ważnego, aktualnego, trudnego i niezwykle interesującego, tj.: predykcji właściwości efektywnych materiałów kompozytowych w terminach ich właściwości mikrostrukturalnych. Rozwiązywane w pracy zagadnienia, ze względu na stopień skomplikowania: modelowanie morfologicznych cech mikrostruktury z wykorzystaniem wzorców w zastosowaniu do predykcji makroskopowych odpowiedzi materiałów kompozytowych, w zakresie liniowym oraz nieliniowym, należą do jednych z najtrudniejszych w mechanice ośrodków mikrostrukturalnych.

Przedstawione rozważania teoretyczne i analityczne, symulacje numeryczne oraz wykonane analizy porównawcze są oryginalnym osiągnięciem Autora. Zastosowanie konsekwentnego podejścia z wykorzystaniem wzorców w analitycznych metodach aproksymacyjnych mikromechaniki, równocześnie z wykonaną sekwencją predykcji z wykorzystaniem homogenizacji numerycznej, pozwoliło autorowi w sposób obiektywny, zidentyfikować tak jakościowo jak i ilościowo efekt morfologii mikrostruktury w makroskopowej odpowiedzi materiału kompozytowego. Pozwoliło również potwierdzić przydatność i efektywność zaproponowanych w pracy modeli morfologicznej reprezentacji mikrostruktury z wykorzystaniem wzorców.

Prezentowane w pracy wyniki i stwierdzenia stanowią oryginalne rozwiązania problemu naukowego w dyscyplinie mechanika. Recenzowana praca doktorska potwierdza również ogólną wiedzę autora, z zakresu mechaniki, oraz Jego gotowość do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Wyszczególnione przez recenzenta, przy omawianiu treści rozprawy, uwagi krytyczne czynią jedynie pewien „niedosyt” co do prezentacji ale nie mają wpływu na jakość sformułowanych w dysertacji wniosków końcowych oraz na ostateczną bardzo pozytywną ocenę recenzowanej pracy.

#### 4. Wniosek końcowy

Uważam, że oceniana rozprawa doktorska spełnia wymogi Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym (Dz.U. z 2003 r., nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami (Dz.U. z 2017 r., poz. 1789) i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Michała Majewskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. "Reprezentacja cech morfologicznych mikrostruktury w mikromechanicznych modelach materiałów kompozytowych".

W przypadku pozytywnego zakończenia publicznej obrony i nadania stopnia doktora nauk technicznych, w dyscyplinie mechanika, Panu mgr inż. Michałowi Majewskiemu stawiam wniosek o wyróżnienie tej rozprawy.

