dr hab. inż. Grzegorz Domek, prof. UKW
Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Ul. Ogińskiego 16
85-092 Bydgoszcz

Bydgoszcz 14.04.18

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Mateusza Kukli

p.t.

KSZTAŁTOWANIE CECH MATERIAŁOWYCH ELASTOMERÓW MAGNETOREOLOGICZNYCH W BUDOWIE MASZYN

1. Uwagi dotyczące tematu rozprawy, genezy, sformułowanego celu i tezy oraz zakresu pracy

Przedmiotem pracy są zagadnienia dotyczące modelowania i analizy cech materiałów z grupy „smart materials". Zakres pracy obejmuje modelowanie i identyfikację cech materiałowych oraz badania laboratoryjne elastomerów magnetoreologicznych. Dokonano również porównania dokładności odwzorowania rzeczywistych charakterystyk mechanicznych badanego kompozytu z opracowanym modelem matematycznym.

Szerokie zastosowanie i rosnąca ilość nowych aplikacji materiałów adaptacyjnych skłania do poszukiwania nowych kompozytów i badania ich właściwości. Opublikowana praca doktorska wpisuje się doskonale w ten obszar naukowo-badawczy. Dotyczy to w szczególności badań podstawowych i eksperymentalnych takich materiałów konstrukcyjnych, które cechuje możliwość kształtowania właściwości mechanicznych pod wpływem czynnika zewnętrznego, w tym przypadku, pola magnetycznego. Materiały cechujące się zdolnością do wykrycia bodźców zewnętrznych, ich przetworzenia, odpowiedzi oraz powrotu do stanu pierwotnego, stwarzają nowe możliwości konstrukcyjne.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy uważam, jej temat za w pełni odzwierciedlający zawartość pracy. Jest on związany z identyfikacją i analizą właściwości mechanicznych elementów konstrukcyjnych maszyn wykonanych z materiałów magnetoreologicznych i jest ukierunkowany na kształtowanie ich pożądanych cech. Autor wskazuje w tytule na oczekiwane działania inżynierskie, które w naturalny sposób powinny być poparte badaniami analitycznymi i eksperymentalnymi.

Sformułowanie tematyki badawczej stanowią, ujęte w zwięzłej formie, wprowadzenie oraz jego uzasadnienie. Pozwoliło to Autorowi na jasne wskazanie celu pracy, zorientowanego na identyfikację i analizę zmian właściwości mechanicznych materiałów magnetoreologicznych wywołanych polem magnetycznym w warunkach obciążenia ściskającego.

W postawionej tezie zabrakło nawiązania wprost do celu i tytułu pracy. Złożono jednak, że wypracowanie opisu matematycznego stworzy możliwość kształtowania cech badanych materiałów. Takie podejście jest zgodne z tytułem oraz celem pracy. Po przedstawieniu celu pracy następuje długa lista zadań badawczych, która pozwala na jego zrealizowanie.

W mojej ocenie zaprezentowany temat rozprawy jest ważny i aktualny. Dotyczy on poszukiwania nowych rozwiązań zarówno w inżynierii materiałowej i mechanice, ale również w budowie i eksploatacji maszyn. Cel pracy dotyczy poprawnie sformułowanego zadania naukowego. Założony zakres badań zapewnia jego osiągnięcie i wyczerpuje warunki, jakie są standardami dla prac doktorskich.

2. Struktura i charakterystyka pracy

Uważam, że struktura pracy jest właściwa. Składa się ona z sześciu rozdziałów, spisu treści, spisu ważniejszych oznaczeń, streszczenia w języku polskim oraz obszernego spisu literatury. Całość opracowania obejmuje 120 stron. Rozdziały ułożone są we właściwej kolejności, tworząc jasny oraz zrozumiały podział treści i zagadnień.

W rozdziale pierwszym Autor wprowadza czytelnika w problematykę badanych zagadnień, formułuje cel pracy, stawia hipotezę badawczą oraz przedstawia zadania badawcze mające doprowadzić do osiągnięcia celu.

Cały ciężar wprowadzenia w tematykę „inteligentnych materiałów" Autor przeniósł do rozdziału drugiego, w którym przedstawiono stan wiedzy dotyczący materiałów magnetoreologicznych i ich zastosowania w budowie maszyn. Dokonany został gruntowny przegląd literatury, źródeł krajowych i zagranicznych. Przedstawiono również najczęściej występujące modele materiałowe opisujące właściwości tych materiałów. Wskazane zostały także przykłady zastosowania materiałów magnetoreologicznych.

W rozdziale trzecim Autor przedstawił zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze oraz wybraną metodykę badań. Dokonano także wyboru materiału badawczego, ze względu na technologiczność jego wykonania jak również kształt i wymiary próbek.

Rozdział czwarty poświęcony jest zagadnieniom związanym z opracowaniem modelu materiałowego badanych kompozytów. Dokonano wyboru modelu i przeprowadzono badania związane z doborem parametrów materiałowych. W tym celu Autor opracował specjalny algorytm, a uzyskane w ten sposób współczynniki zostały wykorzystane w sprawdzających obliczeniach numerycznych.

W rozdziale piątym Autor opisuje przeprowadzone badania eksperymentalne i porównuje ich wyniki z symulacjami opartymi na bazie opracowanego modelu materiałowego. Zwrócono uwagę na dokładność odwzorowania rzeczywistych charakterystyk kompozytu z opracowanym matematycznym modelem materiału.

W rozdziale szóstym Autor podsumowuje całość opracowania, podkreślając jakość i charakter otrzymanych wyników badań i symulacji. W pracy zamieszczono również propozycje

kierunków przyszłych badań. Wskazuje to na otwartość Autora na dalsze prowadzenie pracy naukowej.

Pracę kończy składający się ze 168 pozycji spis literatury, który stanowią w większości prace zagraniczne. Świadczy to o gruntownym zapoznaniu się przez Autora z tematyką dotyczącą prowadzonych badań.

Przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską oceniam jako opracowanie pełne i kompletne.

3. Ogólna ocena i uwagi dotyczące rozprawy

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest bardzo aktualna i wpisuje się w oczekiwania konstruktorów maszyn. Temat pracy jest ważny z punktu widzenia zarówno naukowego jak i inżynierskiego. W nauce trwają poszukiwania takich modeli, które najlepiej odwzorowują właściwości materiałów. Z kolei w technice, poszukiwane są technologie wytwarzania takich materiałów, których właściwości można kształtować zgodnie z opisem matematycznym. Wyzwania stawiane konstruktorom maszyn zmuszają do poszukiwania materiałów konstrukcyjnych, których właściwości można kształtować w trakcie eksploatacji.

Autor w rozdziale drugim wprowadza w zagadnienia dotyczące materiałów magnetoreologicznych i poświęca wiele miejsca cieczom magnetoreologicznym, które są znane i szeroko opisane od wielu lat. Natomiast opis dotyczący kompozytów magnetoreologicznych, które stanowią główny przedmiot badań, zajmuje znacznie mniej miejsca. W mojej ocenie, należałoby więcej miejsca poświęcić elastomerom oraz zagadnieniom związanym z wytwarzaniem kompozytów elastomerowych. Właściwości struktury oraz energia wiązań wewnętrznych są zależne od rodzaju polimeru. Powoduje to, że w przypadku elastomerów magnetoreologicznych występuje bardzo złożony stan energii. Istotne jest, czy mamy do czynienia z materiałem termoplastycznym, termoutwardzalnym, czy też chemoutwardzalnym.

W rozdziale trzecim wybrano do badań elastomer chemoutwardzalny, o technicznej nazwie Gumosil B, który jest materiałem trudnym do przygotowania. Sieciowanie łańcuchów polimeru następuje w obecności katalizatora, którego zbyt mała ilość skutkuje niedostatecznym sieciowaniem. Jego nadmiar może powodować zbyt szybkie sieciowanie, co w efekcie wpływa na nierównomierność formowanej struktury. Przygotowanie materiału komplikuje dodatkowo zawartość cząstek ferromagnetycznych, a w szczególności ich równomierne rozmieszczenie. W mojej ocenie Autor wykonał bardzo trudne zadanie, którego efektem było wykonanie elastomeru magnetoreologicznego. Podobne trudności wiązały się z przygotowywaniem próbek do dalszych badań. Wykorzystano w tym celu inne polimery, cechujące się zbliżonymi właściwościami. Załączone w pracy zdjęcia mikroskopowe potwierdzają wysoką jakość uzyskanych materiałów wykorzystywanych później w trakcie eksperymentów.

W rozdziale czwartym, obok wnikliwej analizy przydatności modelu materiału Kelvina-Voigta, który pozwala na jakościowy opis niektórych właściwości materiałów nieliniowo-sprężystych, Autor przedstawia przez siebie opracowany algorytm, który pozwala na wyznaczenie współczynników niezbędnych do szczegółowego opisu właściwości materiału.

W rozdziale piątym zestawione zostają wyniki symulacji numerycznych z wynikami badań eksperymentalnych. Należy w tym miejscu podkreślić wysoką jakość warsztatu badawczego Autora.

Dobre skorelowanie wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych jest wynikiem zastosowania nowatorskiego algorytmu obliczeniowego pozwalającego na wyznaczenie niezbędnych współczynników materiałowych oraz wskazanej wcześniej, wysokiej jakości wykonanych materiałów i próbek.

W podsumowaniu wskazano na osiągnięcie celu pracy i potwierdzenie hipotezy badawczej. Jest to szeroka wypowiedź Autora, już jako doświadczonego badacza, który całość przeprowadzonych prac ujął w postaci schematu (Rys. 6.1).

W podsumowaniu rozszerzono także odpowiedź na tezę pracy i wskazano kierunki dalszych badań.

W mojej ocenie praca zawiera wszystkie cechy rozprawy doktorskiej. Załączone w tym punkcie uwagi pozwalają wskazać na wysoką ocenę osiągnięć jej Autora.

4. Uwagi szczegółowe

W rozprawie można dostrzec pewne mankamenty. Dotyczą one opracowania edytorskiego struktury pracy, wagi poszczególnych rozdziałów oraz ich podziału na podrozdziały.

W rozdziale drugim i trzecim treści podzielone są na podrozdziały, w których wyodrębniono podpodrozdziały. Tak głębokiej struktury zabrakło w rozdziale czwartym, który jest także bardzo ważnym elementem opracowania.

W podrozdziale 2.5.2 pojawiają się na stronach: 25, 27, 29 wytłuszczone tytuły, które nie posiadają numeracji. Nie zostały one uwidocznione w spisie treści. Takie tytuły można znaleźć również w kolejnych rozdziałach pracy.

Wykresy przedstawione w rozdziałach 3, 4 oraz 5 powinny być większe, co poprawiłoby ich czytelność. Wyniki badań Autora stanowią jedną z najbardziej wartościowych części pracy. Niepotrzebne jest oszczędzanie miejsca na stronie w tym przypadku.

W mojej ocenie rozdział piąty nie powinien zawierać słowa „przykład” w tytule. Uważam również, że powinien być on bardziej obszerny.

W dużej ilości pozycji literaturowych pojawia się często po kilka publikacji tego samego Autora. Być może, wskazane byłoby wybrać jedną, najbardziej istotną.

Czy przytoczone w spisie literatury normy to PN czy PN-EN?

W spisie literatury przytoczono linki do stron internetowych. Nie posiadają one dat, odnoszących się do terminów, w których były dostępne.

W szczegółowej analizie nie odnoszę się do drobnych błędów edytorskich, które powstają wskutek automatycznego wspomagania edycji przez edytor tekstu.

W mojej ocenie wskazane powyżej uwagi nie mają znaczącego wpływu wysoką jakość opracowania.

5. Końcowa ocena pracy

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska stanowi bardzo dobre opracowanie. Zapoznałem się z nią z dużym zaciekawieniem. Poruszana tematyka badawcza jest bliska mojemu doświadczeniu naukowemu i konstruktorskiemu. Pragnę podkreślić istotną wagę cech poznawczych analizowanych w pracy zagadnień z zakresu budowy i eksploatacji maszyn.

Działania Autora miały na celu rozwiązanie zagadnienia naukowego, którego wyniki analityczne zostały potwierdzone badaniami eksperymentalnymi. Przedstawiony w pracy przebieg realizacji założonych działań systematycznie zmierzał do osiągnięcia założonego celu i weryfikacji postawionej tezy. Autor dokonał także szerokiego przeglądu literatury, często powołując się w badaniach na wysokiej jakości, aktualne źródła.

W pracy Autor dokonał identyfikacji współczynników zmodyfikowanego modelu Kelvina-Voigta i przeprowadził jego weryfikację z materiałami magnetoreologicznymi. Zostały one wykonane na bazie polimerów, których proces sieciowania jest skomplikowany i ma ogromny wpływ na właściwości wytwarzanego kompozytu. Są to materiały, których właściwości trudno jest kształtować w warunkach laboratoryjnych. Należy podkreślić staranność przygotowanych próbek, których badania pozwoliły na potwierdzenie wypracowanego modelu materiałowego.

W mojej ocenie Autor posiadł umiejętność prowadzenia samodzielnej pracy naukowej i badawczej. Uważam, że przedłożona mi do oceny praca stanowi oryginalny materiał pod względem rozwiązanego zagadnienia naukowego i może stanowić podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych.

W związku ze spełnieniem przez mgr. inż. Mateusza Kuklę wszystkich wymogów aktualnie obowiązującej Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym, stawiam wniosek o dopuszczenie go do publicznej obrony opiniowanej pracy, jako pracy doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Niniejszą opinię przedkładam Dziekanowi Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej, zleceniodawcy powyższej recenzji.