

dr hab. inż. Sebastian Koziołek, prof. PWr.
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów
ul. Łukasiewicza 7/9
50-371 Wrocław
tel. 713204285
sebastian.koziolek@pwr.edu.pl

Wrocław, 21.03.2024 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. inż. Konrada Łyducha
pt.: „Automatyzacja procesu interpretacji wyników optymalizacji topologicznej”
Promotor: prof. dr hab. inż. Michał Nowak

I. Podstawa opracowania recenzji

- Pismo nr DIM.075.465.2023 dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP, dziekana wydziału Inżynierii Mechanicznej
- Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 02 listopada 2023 r. nr 9/III/11/2023
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.), zwanej dalej "Ustawą"

Niniejsza recenzja pracy doktorskiej została przygotowana zgodnie z kryteriami oceny prac doktorskich kierując się fundamentalnymi zasadami określonymi w ww. Ustawie, takimi jak rzetelność naukowa, aktualność tematyki badawczej, oryginalność podejścia badawczego oraz znaczenie pracy dla rozwoju dyscypliny Inżynierii Mechanicznej.

II. Ocena rozprawy

1. Wiedza Teoretyczna

Praca mgr inż. Konrada Łyducha prezentuje głęboką wiedzę teoretyczną w obszarze optymalizacji topologicznej. Praca doktorska przedstawia obszernie i dogłębne opracowanie optymalizacji topologicznej, sięgając nawet do początków XX wieku, kiedy to Michell sformułował podstawy tej dziedziny nauki. Autor dokładnie opisuje kluczowe momenty w rozwoju tej metody, od zastosowania procedury elementów skończonych w latach 60. po wprowadzenie zaawansowanych metod obliczeniowych przez Bendsoe'a w 1989 roku. Dodatkowo, omawiana jest rola metody SIMP, zaprezentowanej przez Sigmunda w 2001 roku, jako najpopularniejszej obecnie metody optymalizacji topologicznej.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Konrada Łyducha „Automatyzacja procesu interpretacji wyników optymalizacji topologicznej” jest imponującym i kompleksowym studium, które wnosi znaczący wkład w dziedzinę optymalizacji topologicznej oraz inżynierii mechanicznej. Praca ta łączy teorię z praktyką, prezentując nową metodę TOCRIM, która ma potencjał do szerokiego zastosowania w różnych dziedzinach przemysłu. Praca jest dobrze napisana i zorganizowana, choć Autor nie ustrzegł się przed nielicznymi błędami stylistycznymi i edytorskimi. Pomimo tych drobnych niedociągnięć, praca stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny Inżynierii Mechanicznej. Przedstawione przez autora wyniki badań są przekonujące i wskazują na wysoki poziom merytoryczny pracy. Testy metody na różnorodnych modelach i w różnych warunkach pokazują jej uniwersalność i efektywność. Ponadto, krytyczna analiza i sugestie dalszych badań wskazują na głębokie zrozumienie tematu przez Autora. Należy podkreślić, że rozprawa doktorska mgr. inż. Konrada Łyducha spełnia wymogi naukowe i techniczne stawiane przed pracami doktorskimi. Została ona przygotowana z należytą starannością, prezentuje oryginalne wyniki badań, a także wpisuje się w aktualne trendy naukowe i inżynierskie. Praca prezentuje się jako solidny i wartościowy wkład naukowy, a wyniki przedstawione w pracy będą cennym źródłem informacji dla naukowców oraz inżynierów zajmujących się optymalizacją topologiczną i automatyzacją procesów projektowych. Na podkreślenie zasługuje także fakt praktycznego zastosowania opracowanej metody, który może przynieść istotne korzyści dla przemysłu i nauki. Interesującym aspektem pracy jest analiza różnych postaci problemu optymalizacji kształtu, w tym jego postać zero-jedynkową (0-1), gdzie 0 oznacza brak materiału, a 1 obecność materiału w badanym obszarze. Autor szczegółowo omawia również zastosowanie współczynnika kary oraz jego wpływ na proces optymalizacji, prezentując równania matematyczne oraz wizualizacje, co ułatwia zrozumienie tej koncepcji. Dalsza część pracy zawiera analizę wyników optymalizacji topologicznej w różnych dziedzinach przemysłu, takich jak motoryzacja, lotnictwo czy produkcja elementów do budowy maszyn, pojazdów i urządzeń. Przedstawione przykłady ilustrują praktyczne zastosowania optymalizacji topologicznej oraz jej wpływ na poprawę wydajności i redukcję masy w projektowanych konstrukcjach. Warto również zauważyć, że Autor uwzględnia różnorodność metod i technik stosowanych w optymalizacji topologicznej, co pozwala na pełniejsze zrozumienie zagadnienia oraz jego możliwości. Dodatkowym elementem pracy doktorskiej jest porównanie trzech systemów optymalizacyjnych: Genesis firmy Vanderplaats, MSC Nastran stworzonego przez NASA oraz OptiStruct firmy Altair. Autor rozprawy doktorskiej szczegółowo przeanalizował narzędzia do optymalizacji strukturalnej, w tym optymalizację wymiaru, kształtu, topometrii, topografii oraz topologii. Zwraca uwagę na trudności związane z optymalizacją topologiczną, gdzie porównanie wyników jest utrudnione ze względu na różnice w modelach trójwymiarowych i rozkładzie gęstości materiału. Mimo to, wskazuje na efektywność solvera OptiStruct, szczególnie z uwzględnieniem przetwarzania końcowego, który wykazuje się lepszymi wynikami od Genesis i MSC Nastran. Ponadto, wskazuje na potrzebę modyfikacji uzyskanego modelu pod kątem technologiczności, kosztów i czasu produkcji, wskazując na potrzebę opracowania nowej metody. W dalszej części pracy Autor przedstawia metodę optymalizacji topologicznej bazującą na elementach skończonych (SIMP). SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization) jest

jedną z najpopularniejszych technik optymalizacji materiałowej w inżynierii mechanicznej. Autor przedstawia podstawowe równanie tej metody oraz jej zalety, takie jak szybka generacja różnych konfiguracji strukturalnych i stosunkowo łatwa implementacja. Jednakże, zaznacza się również wyzwania związane z gładkością i ciągłością rozkładu gęstości materiału oraz uwzględnienie dodatkowych ograniczeń projektowych.

2. Oryginalność Pracy

Metoda TOCRIM, wprowadzona przez Autora, łączy wyniki optymalizacji topologicznej z modelowaniem w środowisku CAD. Jest to nowatorskie podejście, które ukazuje praktyczną wartość badanej metody przez porównanie z innymi systemami optymalizacyjnymi. Oryginalność zastosowania metody TOCRIM w omawianej pracy doktorskiej polega na automatyzacji procesu interpretacji wyników optymalizacji topologicznej oraz przenoszeniu tych wyników do środowiska CAD, w szczególności do programu SolidWorks. Główne osiągnięcia w ramach tej metody obejmują:

- zautomatyzowane przenoszenie wyników optymalizacji topologicznej do środowiska CAD, co realizowane jest poprzez algorytm napisany w języku Python oraz makro do SolidWorks, umożliwiające przeniesienie i rekonstrukcję geometrii z zastosowaniem operacji CAD,
- wysoki stopień odwzorowania kształtu modeli będących wynikiem optymalizacji topologicznej oraz udostępnienie użytkownikowi drzewa operacji CAD, co umożliwia szybką i ergonomiczną edycję kształtu,
- skuteczność metody, która została potwierdzona na przykładach różniących się stopniem złożoności geometrycznej i warunkami brzegowymi, co pozwoliło na ocenę właściwości wytrzymałościowych i innych parametrów charakterystycznych modeli odtworzonych za pomocą metody TOCRIM,
- niezależność działania algorytmu od zastosowanego systemu optymalizacji topologicznej, co oznacza, że metoda może być stosowana w różnych środowiskach optymalizacyjnych, pod warunkiem możliwości eksportu modelu dyskretnego,
- identyfikacja aspektów wymagających dalszego rozwoju, takich jak dokładność odwzorowania kształtów, uwzględnienie dodatkowych typów operacji CAD oraz rozszerzenie algorytmu na inne programy CAD, co wskazuje na otwartość metody na przyszłe usprawnienia i adaptacje.

W opracowanej metodzie zastosowano innowacyjne podejście do automatyzacji i integracji wyników optymalizacji topologicznej z procesem projektowym w środowisku CAD, co stanowi jej oryginalny wkład w dziedzinę inżynierii mechanicznej i projektowania wspomaganego komputerowo.

3. Struktura i Styl

Struktura pracy jest logiczna i zgodna z wymogami akademickimi. Styl pisania jest zrozumiały, choć praca zawiera kilka błędów stylistycznych i edytorskich, takich jak:

- "charakteryzuję się" powinno być "charakteryzuje się" (dwa wystąpienia tego błędu w Streszczeniu na str. nr 6, dwa wystąpienia w punkcie 2.6. Komercyjne

systemy optymalizacji topologicznej na str. nr 26, jedno wystąpienie w pkt. 5.3.4. Operacja końcowej redukcji węzłów obrysu na str. nr 66, jedno wystąpienie w pkt. 6.7. Porównanie wyników ze względu na charakterystykę wytrzymałościową modeli zoptymalizowanych obiektów na str. nr 103).

- "zachowanie obszaru modelu" - brak jasności, możliwe, że chodziło o "zachowanie geometrii modelu" lub inny bardziej sprecyzowany termin, dot. str. nr 25.
- "dzięki czemu użytkownik jest" - lepiej brzmiałoby "dzięki czemu użytkownik może" dot. str. nr 6.,
- "tytułową automatyzację interpretacji wyników" – jest to niepoprawna forma, lepiej byłoby zastosować zwrot "automatyzację interpretacji wyników, na którą wskazano w tytule", dot. str. nr 6.,
- powtórzenia w tekście niektórych zwrotów, na przykład wielokrotne użycie frazy "metoda opiera się na".

Powyższe poprawki nie mają istotnego wpływu na wartość merytoryczną pracy ale z pewnością przyczyniłyby się do poprawy jej walorów estetycznych i językowych. Ponadto, odwołania literaturowe i przypisy wymagają dokładnej weryfikacji i korekty. Należy zwrócić szczególną uwagę na odwołania do rysunków w tekście np. na stronie nr 57 ..."wykresy są zaprezentowane na Rys.65", powinno być „, na rysunku 65”.

4. Rekomendacje dla Autora

Zachęcam do kontynuacji badań nad metodą TOCRIM, jej dalszego doskonalenia i możliwości integracji z różnymi systemami CAD. Istotne będzie również zbadanie wpływu różnych parametrów na wyniki optymalizacji oraz rozwijanie metod oceny i porównania uzyskanych rozwiązań.

5. Wnioski i Rekomendacje Końcowe:

Praca doktorska „Automatyzacja procesu interpretacji wyników optymalizacji topologicznej” jest imponującym studium, które wnosi znaczący wkład w dziedzinę optymalizacji topologicznej oraz inżynierii mechanicznej. Prezentuje ona nową metodę TOCRIM, łączącą teorię z praktyką i otwierającą nowe możliwości w zakresie szeroko pojętej automatyzacji procesów inżynierskich. Metoda ta, dzięki swojemu innowacyjnemu charakterowi, ma potencjał do znalezienia szerokiego zastosowania w różnych dziedzinach przemysłu. Praca jest dobrze skonstruowana, napisana zrozumiale i logicznie mimo wystąpienia kilku błędów stylistycznych i edytorskich. Analiza przeprowadzona przez Autora oraz przedstawione wyniki badań świadczą o wysokim poziomie merytorycznym pracy. Testy metody TOCRIM na różnorodnych modelach oraz w różnych warunkach potwierdzają jej uniwersalność i efektywność. Autor wykazał się również zdolnością do krytycznej analizy i zrozumienia głębszych aspektów tematu, co jest widoczne w sugestjach dalszych badań. W pracy zaleca się także dokładniejszą analizę i dyskusję na temat ograniczeń metody. Rozszerzenie tej sekcji może dodać

wartości pracy, ukazując autorowi świadomość potencjalnych wyzwań oraz gotowość do kontynuacji naukowej podróży. Rekomenduję autorowi dalsze poszukiwania w celu rozwinięcia metody TOCRIM, a także jej integrację z różnymi systemami CAD uwzględniając zastosowanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Dodatkowo, ważne jest rozszerzenie badań nad wpływem różnorodnych parametrów optymalizacyjnych i warunków brzegowych na wyniki. Takie działania mogą przyczynić się do dalszego rozwoju metody i poszerzenia jej zastosowań praktycznych. Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione argumenty oraz dokonane przez autora opracowanie tematu, z pełnym przekonaniem popieram przyznanie mgr inż. Konradowi Łyduchowi stopnia doktora nauk technicznych dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Praca spełnia wszelkie wymagane kryteria, a zidentyfikowane niedoskonałości są niewielkie i mogą być łatwo skorygowane. Wkład autora w naukę oraz potencjał aplikacyjny jego pracy są niezaprzeczalnie cenne i zasługują na uznanie. Tym samym wnioskuję o wyróżnienie tej pracy.

RECENZENT:

dr hab. inż. Sebastian Koziółek, prof. PWr.