

Prof. dr hab. inż. Ryszard Kutylowski
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: ryszard.kutylowski@pwr.edu.pl
tel. komórkowy 609 841 803

Wrocław, 20.10.2020

Recenzja

pracy doktorskiej mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego pt.

Optymalizacja topologii konstrukcji tarczowych

ze względu na minimum przemieszczenia

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana w oparciu o uchwałę Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej powołującą mnie w dniu 16 września 2020 roku na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego, o czym poinformowany zostałem przez Panią Prodziekan dr hab. inż. Lucynę Domagałę, prof. PK pismem z dnia 24.09.2020 roku.

2. Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej

Przewód doktorski mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego jest prowadzony na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego wydana została w roku 2020. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Bogumił Wrana.

Rozprawa doktorska dotyczy problematyki optymalizacji topologii konstrukcji ze względu na minimum maksymalnego przemieszczenia, co jest podejściem nowym, a równocześnie ciekawym z punktu widzenia naukowego i użytecznym z punktu widzenia zastosowań praktycznych. Wszakże formalnie rozwiązano problem dla konstrukcji tarczowych, ale zaproponowane podejście może być zastosowane do zagadnień ogólniejszych. Opracowano własną metodę (MWD), efektywniejszą z punktu widzenia optymalizacji topologii niż powszechnie stosowane podejście minimalizujące podatność. W oparciu o autorskie podejście do problemu zbudowano własny program w środowisku *Matlab*. Badano efektywność algorytmu i programu. Przeprowadzono wiele analiz porównawczych oraz pokazano przykład zastosowania opracowanej metody optymalizacji topologii w zaprojektowaniu kotwy z tworzywa sztucznego.

Rozważana problematyka jest nowa i aktualna. Doktorant pokazał, że można z powodzeniem próbować minimalizować maksymalne przemieszczenie elementów konstrukcji korzystając z optymalizacji topologii konstrukcji.

Rozprawa składa się z wykazu często stosowanych oznaczeń, a następnie z siedmiu rozdziałów, literatury, spisu rysunków, spisu tabel, dwóch załączników oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Opiniowana praca liczy łącznie 152 strony, 93 rysunki (w tym dwa

wielorysunkowe znajdujące się w załączniku 2) oraz 33 tabele (zawierające wiele rysunków, wszystkie tabele są w rozdziale 5). Bibliografia zawiera 137 pozycji.

Pomocny dla czytelnika jest zamieszczony na jednej stronie wykaz często stosowanych oznaczeń. We wprowadzeniu, stanowiącym rozdział pierwszy przedstawiono ideę optymalizacji topologii wraz z przykładami zastosowań, również w budownictwie, wykonanych w ostatnim czasie. Dobrze uzasadniono wybór tematu pracy, co wynikało z przeprowadzonej analizy literatury tematu. Następnie przedstawiono cel i zakres pracy oraz skrótowo omówiono zawartość poszczególnych rozdziałów pracy. Kończąc ten rozdział podano przyjęte założenia.

Rozdział drugi obejmuje przegląd literatury dotyczącej optymalizacji topologii. Rozpoczynając ten rozdział Autor podaje jak praktycznie realizowana jest optymalizacja konstrukcji, następnie, zgodny z literaturą jeden ze sposobów podziału optymalizacji topologii na poddziedziny oraz przedstawia bogaty rys historyczny nie tylko wspominając o istotnych pozycjach literaturowych, ale też omawiając w oparciu o literaturę, metodę SIMP wykorzystywaną w dysertacji. Doktorant wspomina też o optymalizacji grubości, omawia inne podejścia, a także przedstawia istotną trudność jaka występuje w optymalizacji topologii, a mianowicie problem szachownicowy, wreszcie bardzo krótko omawia literaturową propozycję minimalizacji maksymalnego przemieszczenia.

W rozdziale trzecim sformułowano zadania optymalizacji: minimalizacji podatności i minimalizacji maksymalnego przemieszczenia w ujęciu MES.

W rozdziale czwartym przedstawiono algorytmy zadań rozwiązanych w pracy, a dotyczących podejścia minimalizacji podatności i minimalizacji maksymalnego przemieszczenia, dla którego przygotowano podejście bezpośrednie i podejście określane jako metoda MWD. Przedstawiono także szczegóły zbudowanego algorytmu optymalizacji.

W obszernym rozdziale piątym na początku zamieszczono wprowadzenie, w którym podano istotne informacje niezbędne do śledzenia prowadzonych rozważań, w tym informacje o sposobie prezentacji wyników (wraz z odniesieniami do literatury). Następnie pokazano wyniki rozwiązania trzech przykładów optymalizacji tarcz bogato ilustrowane rysunkami przedstawiającymi istotne informacje dotyczące procesu optymalizacji. Porównano też otrzymane wyniki z wynikami dostępnymi w literaturze. W tym kontekście omówiono zalety metody MWD. W dalszej części przeprowadzono analizy wpływu gęstości siatki podziału MES i wpływu topologii początkowej na otrzymane rozwiązanie. Rozważano także problem minimalizacji przemieszczenia rzeczywistego metodą SIMP.

W rozdziale szóstym przedstawiono praktyczny przykład zastosowania opracowanego algorytmu optymalizując kotwę z tworzywa sztucznego.

W rozdziale siódmym zamieszczono wnioski oraz plany kontynuacji prac nad zagadnieniami optymalizacji topologii.

Po literaturze, spisie rysunków i spisie tabel zamieszczono dwa załączniki zawierające opis użytego tarczowego elementu skończonego oraz porównanie przebiegu procesów optymalizacji w przypadku, gdy proces rozpoczynał się od dwóch różnych topologii początkowych.

3. Omówienie istotnych elementów rozprawy doktorskiej

Doktorant podjął się badań w obszarze optymalizacji topologii, konkretniej optymalizacji topologii konstrukcji tarczowych optymalizując konstrukcję tarczową ze względu na minimum

przemieszczenia. Doktorant zajmuje się więc problemem mechaniki konstrukcji z punktu widzenia optymalizacji topologii tej konstrukcji.

W rozdziale pierwszym Doktorant pokazał bardzo niedawne zastosowania optymalizacji topologii w budownictwie. To ważne, bo wskazuje na bardzo dobre rozeznanie Doktoranta w aktualnie prowadzonych pracach na świecie, a z drugiej strony pokazuje, że jednak i w budownictwie, szczególnie przy dużych obiektach można z powodzeniem stosować optymalizację topologii. Doktorant wykazał się też znajomością aktualnie dostępnych narzędzi i systemów komputerowych, które są bardzo intensywnie rozbudowywane w ostatnim ponad dwudziestoleciu. Analizując literaturę zauważył, że dotychczas nie rozwiązano jeszcze problemu minimalizacji maksymalnego przemieszczenia, wobec czego wyznaczył sobie cel, aby ten problem rozwiązać.

W rozdziale drugim zamieszczono bardzo zwięzły a zarazem bardzo dobrze ujęty rys historyczny wraz z klasyfikacją optymalizacji topologii i opisem stosowanych metod. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnej pracy. Rozdział ten jest pewnym kompendium aktualnej wiedzy w temacie, co jest cenne i może być pomocne innym badaczom.

W rozdziale trzecim znajdujemy, wszakże w oparciu o literaturę, ale własne sformułowanie problemu uzupełnione komentarzami wyjaśniającymi poszczególne elementy zastosowanego podejścia.

W rozdziale czwartym przedstawiono własny, wieloopcjonalny algorytm wraz ze szczegółowym omówieniem poszczególnych etapów i ścieżek algorytmu. Warte wspomnienia jest zastosowanie analizy wrażliwości w poszukiwaniu minimalnej wartości maksymalnego przemieszczenia. W tym rozdziale dysertacji zaproponowano usprawnienie procesu optymalizacji nową metodą, którą nazwano metodą ważonych przemieszczeń (MWD). Istotą tej metody jest to, że zamiast podejmować decyzję o aktualizacji zmiennej projektowej na podstawie pochodnej przemieszczenia podejmuje się decyzję na podstawie średniej ważonej z pochodnych przemieszczenia węzłów, które osiągnęły maksymalne przemieszczenie co najmniej raz w ciągu całej historii procesu optymalizacji. W rozdziale tym przedstawiono następnie, w sposób bardzo szczegółowy, metodologię aktualizacji zmiennych projektowych, a także warunek zakończenia procesu optymalizacji wskazując, że w proponowanej metodzie lepiej skłonić się do założenia, że proces optymalizacji będzie się prowadzić dla stosunkowo dużej liczby kroków. Istotnym elementem jest tu śledzenie historii procesu optymalizacji i w efekcie tej analizy można dokonać wyboru rozwiązania z kroku ostatniego lub pośredniego, albo podjąć decyzję o kontynuowaniu procesu optymalizacji.

W rozdziale piątym przedstawiono przykłady liczbowe. Rozdział rozpoczyna się od przedstawienia przyjętych założeń, w tym również szczegółów stosowanej metodologii co wskazuje na wysoki poziom świadomości Doktoranta w zakresie prowadzonych badań. Dobrze też opisano sposób przedstawiania otrzymanych wyników, co jest tutaj dość istotne, aby można było porównywać otrzymane wyniki do wyników literaturowych. Następnie przedstawiono szczegóły dotyczące przykładów liczbowych i bardzo dobrze udokumentowane rozwiązania. Wreszcie porównano otrzymane rozwiązania z rozwiązaniami literaturowymi, co pozytywnie weryfikuje działalność Doktoranta. Istotny jest podrozdział opisujący zalety zaproponowanej przez Doktoranta metody MWD. Dobrze, że Doktorant przeprowadził też badania wpływu gęstości siatki podziału MES na otrzymane rozwiązania. Takie doświadczenie jest potrzebne do dalszej pracy. Kolejnym istotnym elementem pracy Doktoranta jest analiza wpływu stanu początkowego, czyli topologii początkowej na wynik procesu optymalizacji. Również istotny jest ostatni podrozdział, gdzie Doktorant zajmuje się minimalizacją rzeczywistego przemieszczenia

stosując metodę SIMP. Uwzględnia tu penalizację, stosuje filtr Heaviside i przeprowadza interesującą dyskusję w zakresie szczegółów sposobu sterowania procesem.

W rozdziale szóstym Doktorant pokazał zastosowanie swoich umiejętności do optymalnego zaprojektowania kotwy z tworzywa sztucznego mającej znaleźć zastosowanie jako element montażowy paneli elewacji wentylowanych.

Rozdział siódmy zawiera pewnego rodzaju podsumowanie przeprowadzonych prac, jest więc bardzo zwięzłym przedstawieniem otrzymanych wyników. Budujące jest przedstawienie planów pracy na przyszłość. Jak widać, Doktorant ma świadomość tego co jeszcze wymaga rozpoznania.

Dobrze, że Doktorant przedstawił zastosowany element skończony. Ponadto, jako „dowód w sprawie”, w kolejnym załączniku Doktorant zamieścił graficznie przedstawione w formie otrzymanych topologii porównanie przebiegu optymalizacji przy różnych topologiach początkowych. Wynik pracy Doktoranta pokazuje występującą tendencję. Warto jeszcze ten temat rozwinąć w przyszłości.

4. Uwagi merytoryczne do rozprawy doktorskiej

1. Autor rozprawy doktorskiej podjął temat istotny z punktu widzenia czysto poznawczego jak i utylitarne. W szczególności obecnie, kiedy projektowanie jest coraz dokładniejsze, a technologie wytwórcze umożliwiają produkowanie nawet skomplikowanych struktur również poprzez druk 3D podjęcie tematu dotyczącego optymalizacji topologii w zakresie minimalizacji maksymalnego przemieszczenia należy uznać jako zasadne. Doktorant podjął temat jeszcze nie rozpoznany, a istotny, gdyż wielokrotnie przy projektowaniu ważne jest, aby maksymalne przemieszczenie było jak najmniejsze.
2. Jasno, w jednym zdaniu, sformułowano cel pracy, który brzmi: „zaproponowanie metody optymalizacji topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum maksymalnego przemieszczenia”. Pozytywnie należy też ocenić podanie zadań cząstkowych, jakie należy wykonać, aby osiągnąć wyznaczony cel.
3. Rozprawa ma bardzo dobrą bazę literaturową. Widać, że Doktoranta charakteryzuje systematyczność i dokładność. Doktorant dokumentuje każdy krok, sporo miejsca poświęca wytłumaczeniu szczegółów dotyczących czy to założeń, czy samego algorytmu, czy analizie otrzymanych wyników. Widać ogrom pracy włożonej na każdym etapie. To wszystko świadczy o tym, że Doktorant ukształtował swój warsztat badawczy.
4. Układ rozprawy jest prawidłowy, rozdziały są w logicznym porządku i są właściwie zredagowane. Może tylko jedna uwaga: oba załączniki mogłyby znaleźć się w samej rozprawie.
5. Poszczególne teoretyczne elementy pracy są przedstawione bardzo precyzyjnie i czytelnie. Można stwierdzić, że w dysertacji znajduje się pewne kompendium aktualnej wiedzy w temacie optymalizacji topologii, bardzo dobrze udokumentowanej literaturowo. Szczególnie widać to w rozdziale drugim, gdzie Autor bardzo głęboko sięgnął do sedna kolejno omawianych metod optymalizacji. Takie przedstawienie sprawy może być użyteczne dla czytelnika, który chciałby zająć się optymalizacją topologii, a równocześnie świadczy to o głębokiej wiedzy Doktoranta.

6. Cenny jest rozdział czwarty, gdzie zamieszczono szczegóły autorskiego podejścia (algorytmu) proponowanego do rozwiązania zagadnienia minimalizacji maksymalnego przemieszczenia. Sposób przedstawienia stanowi dowód na dużą wiedzę i duże umiejętności Doktoranta. Następnie przygotowany algorytm został oprogramowany w środowisku *Matlab*. W pracy, w rozdziale piątym przedstawiono rozwiązane przykłady liczbowe, których wyniki i analizy są omówione bardzo czytelnie, zrozumiale, w sposób świadczący o dużych umiejętnościach analitycznych Doktoranta.
7. Recenzowana praca ma dobry, właściwy, można by powiedzieć klasyczny układ: sformułowanie teoretyczne zagadnienia, przygotowanie algorytmu numerycznego, zbudowanie programu komputerowego, a następnie wykonanie obliczeń, przeprowadzenie analizy porównawczej z przykładami literaturowymi, wreszcie przedstawienie rozwiązania numerycznego rozpatrywanego problemu.
8. Warto zwrócić też uwagę na wiele komentarzy czy uwag dotyczących pewnych szczegółów. Ujawniają się tutaj umiejętności analityczne Doktoranta, widać również Jego pasję badawczą. Na przykład Doktorant odnosi się do potocznego rozumienia optymalizacji jako narzędzia do maksymalizacji zmniejszenia zużycia materiału. Doktorant dowodzi swoimi badaniami, że optymalizacja prowadzi do właściwszego rozkładu materiału i pokazuje na czym to polega, czym daje wyraz swojego dobrego rozeznania w temacie. Ciekawe są np. analizy otrzymanych rozwiązań, gdzie o optymalnej redystrybucji materiału podejmuje się decyzje w oparciu o analizę wrażliwości, gdzie uwzględnia się penalizację, czy też gdzie stosuje się filtr Heaviside.
9. Podsumowując, w swej dysertacji Doktorant z powodzeniem rozwiązał problem minimalizacji maksymalnego przemieszczenia konstrukcji. Choć w tytule pracy Doktorant mówi o konstrukcjach tarczowych, to efekt pracy jest ogólniejszy i może być zastosowany do szerszej klasy konstrukcji.

5. Uwagi redakcyjne

Rozprawa wydana jest w twardej oprawie. Jej poziom edytorski jest bardzo wysoki. Napisana jest zwięzłym i precyzyjnym językiem. Staranność Doktoranta jest widoczna bardzo wyraźnie, czy to w tekście, czy w rysunkach, czy w ich opisie.

6. Podsumowanie

1. Cel pracy został osiągnięty.
2. Jednoznacznie można stwierdzić, że w recenzowanym przypadku metodami naukowymi został rozwiązany problem naukowy.
3. Doktorant rozwiązał problem, który dotychczas nie został rozwiązany.
4. Pod względem edytorskim dysertacja jest przygotowana wzorowo.
5. Doktorant opracował temat od strony teoretycznej, opracował algorytm, który oprogramował, wykonał obliczenia i przeprowadził odpowiednie analizy. Z tej perspektywy patrząc na sylwetkę Doktoranta można powiedzieć, że jest On osobą, która może samodzielnie prowadzić dalsze badania naukowe (ma odpowiednią wiedzę i kompetencje oraz cechy rzetelnego badacza).

6. Recenzowana rozprawa zawiera następujące oryginalne elementy:

- Oryginalnym jest podjęcie tematu, który nie był jeszcze rozpracowany w literaturze.
- Bazując na literaturze opracowanie formalizmu teoretycznego podejścia do problemu.
- Opracowanie oryginalnych algorytmów zadania i kodów w środowisku *Matlab*, dzięki którym możliwe było wykonanie obliczeń.
- Opracowanie autorskiej metody MWD (Method of Weighted Displacements), konkurencyjnej do tradycyjnej metody minimalizującej podatność.
- Przeprowadzenie analiz porównawczych otrzymanych wyników badań, a także dokonanie optymalizacji topologii konstrukcji ze względu na minimum maksymalnego przemieszczenia.
- Wykorzystanie posiadanego doświadczenia w optymalizacji topologii do zaprojektowania optymalnie skonstruowanej kotwy z tworzywa sztucznego służącej do mocowania paneli elewacyjnych.

W konkluzji stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pt. „Optymalizacja topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum przemieszczenia” w pełni spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (wraz z późniejszymi jej zmianami), Ustawy zatytułowanej „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego do publicznej obrony swojej rozprawy doktorskiej. Stawiam również wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Kołaczkowskiego.



Ryszard Kutylowski