

Prof. dr hab. inż. Leonard Ziemiański
Katedra Mechaniki Konstrukcji
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska
i Architektury

Rzeszów, 10.12.2020

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Michała Kołaczekowskiego, pt.
*„Optymalizacja topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum
przemieszczenia”.*

Podstawę do oceny stanowi pismo prodziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej prof. Lucyny Domagała z dnia 24 września 2020 roku dotyczące powierzenia mi przez Radę Naukową Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej wykonania niniejszej opinii. Podstawę merytoryczną stanowi dostarczona praca doktorska.

W opiniowanej pracy pt. *„Optymalizacja topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum przemieszczenia”* mgr inż. Michał Kołaczekowski (dalej nazywany Autorem) zajmuje się ciekawym i aktualnym problemem optymalizacji topologicznej konstrukcji. W pracy skupiono się głównie na zagadnieniu optymalizacji topologii konstrukcji tarczowych w płaskim stanie naprężenia. Jako kryterium optymalizacyjne rozpatrywano głównie minimalizację przemieszczenia. Autor podjął trudny temat, który wymaga starannego przygotowania z dziedziny zastosowania metod obliczeniowych. Ważność tematu którym zajął się Autor wynika z obszaru potencjalnego zastosowania wyników w badaniach naukowych oraz w analizie i projektowaniu konstrukcji. Tak więc wybór tematu jak i zakres opiniowanej pracy należy uznać za aktualny i w pełni uzasadniony.

Podejmowane zadanie precyzujące cel, zakres oraz metodykę rozwiązania problemu przedstawione w pracy jest sformułowane jasno i poprawnie.

DZIEKANAT Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	21.12.2020
L. dz.	10.510.20.5.2018
podpis	<i>Cyborczyk</i>

Omówienie pracy

Rozprawa mgr inż. Michała Kołaczковского składająca się z 152 stron podzielona jest na siedem rozdziałów. Wykaz literatury obejmuje 117 pozycji. Pracę uzupełniają spisy rysunków i tabel oraz załączniki i streszczenia.

Zakres i cel rozprawy zostały przedstawione w wprowadzeniu. Sformułowano cel główny pracy jako : „zapropowanie metody optymalizacji topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum maksymalnego przemieszczenia”, jak i cele narzędziowe i aplikacyjne. Cele te można określić jako analiza różnych podejść i możliwości zastosowania algorytmów optymalizacji topologicznej w analizie płaskich układów tarczowych. Jako główny cel praktyczny pracy, można wskazać opracowanie ulepszanego algorytmu minimalizacji maksymalnego przemieszczenia oraz programu komputerowego realizującego analizowane algorytmy. Zadania do rozwiązania zostały określone przez Autora w sposób prawidłowy. Podano także podstawowe założenia przyjęte przy realizacji pracy. Założenia te wydają się niekiedy zbyt rygorystyczne. Określono sposoby optymalizacji topologii tarcz: i) optymalizacja tarcz o zmiennej grubości (VTS), ii) optymalizacja tarcz metodą SIMP.

W rozdziale drugim Autor dokonał przeglądu literatury dotyczącej optymalizacji topologii, a także przedstawione zostały metody i klasyfikacja zadań optymalizacji. Omówione zostały problemy numeryczne związane z optymalizacją topologii. Przedstawiono także techniki zapobiegania tym problemom, a zwłaszcza zastosowane w pracy metody filtrowania oraz zagadnienie funkcji progowych, które mogą być opcjonalnie stosowane w procesie optymalizacji topologii.

Rozdział trzeci poświęcony jest omówieniu podstaw, klasyfikacji i zastosowaniu zadań minimalizacji podatności oraz minimalizacji maksymalnego przemieszczenia. Zadania te sformułowano w obszarze funkcji ciągłych oraz obszarze dyskretnym (MES). Przedstawiono również interpretację metody SIMP stosowaną w pracy.

Rozdział czwarty przedstawia algorytmy zadań optymalizacji topologii stosowane w pracy. Istotnym elementem tego rozdziału jest zapropowanie metody ważonych przemieszczeń (MWD) jako alternatywnego podejścia do minimalizacji maksymalnego przemieszczenia. Omówiono także zadanie minimalizacji podatności konstrukcji.

Rozdział piąty poświęcony jest analizie zagadnienia minimalizacji maksymalnego przemieszczenia na podstawie optymalizacji przykładowych tarcz. Przedstawiono wyniki ponad pięćdziesięciu przykładów optymalizacji tarcz, na które składały się przykłady o trzech różnych schematach statycznych i różnych założeniach

odnośnie funkcji celu, penalizacji, filtrowania, gęstości siatki, czy topologii początkowej.

W następnym rozdziale (szóstym) zajęto się praktycznym zastosowaniem zaproponowanej w pracy metody optymalizacji do optymalizacji kotwy z tworzywa sztucznego. Autor przeanalizował różne topologie początkowe stosując optymalizację topologii ze względu na minimum przemieszczenia końca kotwy podpierającego panel. Efektem optymalizacji topologii jest propozycja prototypu kotwy, przeznaczonej do montażu paneli elewacji wentylowanych.

Rozprawę kończy rozdział siódmy gdzie Autor podsumował wyniki pracy, podał wnioski z przeprowadzonych badań numerycznych, symulacji oraz przedstawił możliwości dalszego rozwoju opracowanych metod. W rozdziale tym Autor sformułował także wiele wniosków praktycznych wynikających z doświadczeń uzyskanych w trakcie realizacji obliczeń. Dokonał także szczegółowego porównania wyników otrzymanych obliczeń analizując: wyniki przy podejściu VTS i SIMP, wpływ siatki elementów skończonych, stosowania metody SIMP w zadaniu minimalizacji maksymalnego przemieszczenia, stosowania filtrów Heaviside przy minimalizacji podatności, wyniki autorskiej metody MWD i literaturowego podejścia GAD.

Celem głównym rozprawy jest sprawdzenie możliwości zastosowania w optymalizacji topologicznej funkcji celu wyrażonej przez minimalizację maksymalnego przemieszczenia. Zaproponowano dwa algorytmy do realizacji celu: 1) minimalizację maksymalnego przemieszczenia w każdym kroku optymalizacji (nazwane przez Autora metodą bezpośrednią), 2) „metodę ważonych przemieszczeń - MWD” (metoda autorska). Wykazano numeryczną efektywność zaproponowanego algorytmu. Wykorzystano dwa podejścia optymalizacyjne: i) optymalizacja tarcz o zmiennej grubości (VTS), ii) optymalizacja tarcz metodą SIMP. Przedstawione w pracy wyniki obliczeń pokazują, że zaproponowane podejście może być bardzo sprawnym i efektywnym narzędziem. Autor wykazał, że dzięki zaproponowanej metodzie, cytując: „udało się uzyskać topologie o znacznie wyraźniejszym zarysie „prętów” oraz niższe wyniki maksymalnego przemieszczenia”. W związku z powyższym ostatecznie proponowanym podejściem do minimalizacji maksymalnego przemieszczenia jest metoda MWD.

Uważam, że cel pracy postawiony przez Autora został osiągnięty, że użyte w pracy metody obliczeniowe są poprawne i świadczą o przygotowaniu Autora do samodzielnej pracy naukowej w dziedzinie mechaniki i metod obliczeniowych konstrukcji. Uważam ponadto, że przedstawiona praca (mimo pewnych błędów i nieprecyzyjności o których będę pisał później), w sposób jasny i klarowny omawia analizowane zagadnienia, gdzie Autor wykazał dojrzałość badawczą i odpowiednie przygotowanie do prowadzenia badań naukowych.

Komentarze, uwagi do pracy i pytania

Niżej podaję tylko wybrane uwagi i niektóre pytania.

1. Uwaga dotycząca wykorzystanej bibliografii. Zdaję sobie sprawę, że dobór wykorzystanej literatury jest zadaniem subiektywnym i zależy od intencji Autora. Bibliografia dotycząca optymalizacji topologii jest ogromna (proste wyszukiwanie w bazie Scopus daje wynik 2147 pozycji, co i tak jest tylko częścią bazy) ale warto było w pracy skorzystać z pozycji: Valdez, S. I., Botello, S., Ochoa, M. A., Marroquín, J. L., Cardoso, V. : „Topology Optimization Benchmarks in 2D: Results for Minimum Compliance and Minimum Volume in Planar Stress Problems”, *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 24, no. 4, 2017. W pracy tej zaproponowano serię „benchmarkowych” przykładów do analiz porównawczych w zadaniach optymalizacji topologicznych 2D – płaskiego stanu naprężenia.
2. Autor założył w pracy że nie uwzględnia wpływu ciężaru własnego. Jeżeli jednak rozważamy metodę, którą chcielibyśmy zastosować w praktyce, to warto jednak uwzględnić siły masowe, zwłaszcza, że Autor w definiowaniu problemu (rozdział 3) uwzględnia siły masowe f_m . W wielu pracach zwraca się na ten fakt (tj. uwzględnienia ciężaru własnego konstrukcji) szczególną uwagę, twierdząc, że formy optymalne dla zadań z uwzględnieniem ciężaru i bez są różne. Prosiłbym o komentarz, czy Autor zweryfikował ten problem ? Inne moje pytanie dotyczy ograniczenia obciążeń tylko do sił prostopadłych do brzegu (str. 38). Czy nie mogą występować siły styczne ? Jakie są motywy tego ograniczenia ?
3. W pracy przyjęto założenie o minimalizacji przemieszczenia jako funkcji celu procesu optymalizacyjnego, przy czym przemieszczenie ograniczono do składowej tylko na jednym kierunku. Można zadać pytanie dlaczego ? Wydaje się, że bardziej odpowiednim kryterium jest śledzenie wektora przemieszczenia (długości). Pojawia się tu problem z porównaniem rozwiązań definiowanych w pracy jako zadanie 1 i zadanie 2, tj. minimalizacja podatności czyli minimalizacja pracy sił na przemieszczeniach oraz minimalizacja maksymalnego przemieszczenia. Autor sam stwierdza że, cyt. „Minimalizacja podatności konstrukcji jest równoznaczna z minimalizacją sumy przemieszczeń wszystkich węzłów”, czyli dwóch składowych wektora przemieszczeń. Czy wobec powyższego można porównywać te wyniki ?
4. W założeniach pracy stwierdzono, że nie analizowano wyników naprężeń, ale mimo tego stwierdzenia, chciałbym się dowiedzieć, czy Autor otrzymane rozwiązania optymalne zweryfikował pod względem analizy maksymalnych wyteżeń ? Jednak rozwiązanie które nie spełnia warunków nośności jest bezużyteczne. Czy jest możliwe w przedstawionym algorytmie uwzględnienie ograniczeń na funkcję celu na

nieprzekroczenie maksymalnych naprężeń (uwzględnienie stanu granicznego nośności) ?

5. Ciekawym zagadnieniem pokazanym w pracy jest wpływ topologii początkowej o nierównomiernym rozkładzie dostępnego materiału. Analiza tego zagadnienia wymagała by wprowadzenia pewnych miar statystycznych. Czy Autor myśli o takim opisie ?

6. Autor rozwiązując przykłady numeryczne, przyjmował dopuszczalną objętość materiału (warunek niezmienności dostępnej materiału) poprzez wprowadzenie mnożnika. Mnożnik ten jest różny dla przykładów, wynosi np. 0.3, 0.25, nie uzasadniając dlaczego taka wartość została przyjęta, jakie były przesłanki do przyjmowania tych danych ?

7. W trakcie czytania pracy pojawiło mi się wiele pytań dotyczących zakresu analizy. Nie podaję ich tutaj ponieważ Autor na te moje pytania odpowiedział na ostatniej stronie pracy (130), gdzie przedstawił kierunki dalszych prac. Jest to istotne, gdyż pokazuje że Autor zdaje sobie sprawę z ograniczeń zaproponowanego podejścia i myśli o rozszerzeniu stosowalności zaproponowanej metody optymalizacji topologicznej. Chodzi mi o zastosowanie innych elementów skończonych niż elementy kwadratowe i 4-ro węzłowe czy elementy hierarchiczne (podejście adaptacyjne), różne metody filtrowania czy zastosowanie metod heurystycznych optymalizacji.

8. W pracy brakuje mi trochę informacji dotyczących realizacji procesów obliczeniowych.

W pracy dostrzegłem kilka drobnych błędów, których, ze względu na znikome ich znaczenie, nie podnoszę w recenzji.

Ocena strony formalnej

Praca została wykonana starannie i wnikliwie, napisana w sposób jasny i czytelny. Na szczególne podkreślenie zasługuje analiza literatury (mimo uwagi 1) i synteza aktualnego stanu wiedzy w sposób odpowiadający właściwemu prowadzeniu badań naukowych. Autor przedstawił kroki zmierzające do osiągnięcia założonego celu, rozwiązując sukcesywnie poszczególne zadania badawcze. Wyniki badań przedstawił w sposób przejrzysty i ilustrowany dużą liczbą rysunków i wykresów, dbając o jakość ilustracji. Pozytywnie też należy ocenić kolejność rozdziałów, ponieważ każdy poprzedni jest bazą do następnego. Pozycje literaturowe zostały właściwie w pracy wykorzystane. Styl i język techniczny rozprawy przedstawia dobry poziom, dzięki czemu praca jest czytelna i zrozumiała.

Wnioski końcowe

Przedstawione wyżej uwagi szczegółowe nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Pragnę sformułować kilka wniosków ogólnych.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Michała Kołaczkowskiego zatytułowaną „*Optymalizacja topologii konstrukcji tarczowych ze względu na minimum przemieszczenia*”, która powstała na wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem profesora Bogumiła Wrany, stwierdzam, że w pracy tej Autor przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazując się wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu komputerowego modelowania, zaawansowanej analizy konstrukcji i stosowania metod optymalizacyjnych. Stwierdzam ponadto, że :

1. rozprawa napisana jest poprawnie, kontynuowane jest logiczne rozwinięcie tezy i celu pracy,
2. Autor wykazał szeroką wiedzę w zakresie metod numerycznych oraz zastosował ją do zagadnień optymalizacji konstrukcji w sposób efektywny,
3. rozprawa zawiera części oryginalne, dotyczy to zwłaszcza zaproponowanego algorytmu optymalizacji realizującego funkcję celu zdefiniowaną przez ważne przemieszczenia,
4. cele pracy oraz zadania wynikające z tezy zostały zrealizowane, wskazane zostały także obszary dalszych badań.

Przedstawiony w rozprawie problem naukowy mieści się w nurcie aktualnej tematyki badawczej dyscypliny inżynieria lądowa i transport oraz ma walory nowoczesnych analiz i badań. Autor rozpoznał aktualny stan wiedzy w tematyce objętej rozprawą, sformułował problem badawczy oraz wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań.

Opierając się na powyższych wnioskach stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Michała Kołaczkowskiego, stanowi twórczy wkład do nauki w dyscyplinie **inżynieria lądowa i transport** oraz spełnia wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku, Dz. U. Nr 65. poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

