

Warszawa, 1.04.2016

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński, czł. koresp. PAN  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN  
ul. Pawińskiego 5B  
02-106 Warszawa  
[tburczynski@ippt.pan.pl](mailto:tburczynski@ippt.pan.pl)

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Anny Rębosz-Kurdek**  
**pt.**  
**„Optymalizacja konstrukcji prętowych przy zastosowaniu pochodnej**  
**topologicznej i skończonych modyfikacji topologii”**

## 1. Wstęp

Recenzowana rozprawa doktorska powstała w Zakładzie Metod Optymalizacji Katedry Inżynierii Produkcji na Wydziale Zarządzania i Modelowania Komputerowego Politechniki Świętokrzyskiej.

Promotorem pracy jest dr hab. inż. Dariusz Bojczuk, prof. PŚk.

Głównym celem rozprawy jest zastosowanie koncepcji pochodnej topologicznej i skończonych modyfikacji topologii w optymalizacji konstrukcji prętowych.

Przewód doktorski jest prowadzony na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Biorąc pod uwagę treść i zakres pracy oraz zastosowane metody, a także uprawnienia Rady Wydziału MiBM, można ją z całą pewnością zakwalifikować do dyscypliny **mechanika**.

## 2. Zakres i treść rozprawy

Praca zajmuje 177 stron i składa się ze spisu treści, wykazu najważniejszych oznaczeń, siedmiu rozdziałów, streszczeń w j. angielskim i polskim, bibliografii oraz spisu rysunków i tabel.

W rozdziale 1., mającym charakter wprowadzenia, Doktorantka przedstawiła motywacje podjęcia tematyki badawczej związanej z optymalizacją topologiczną, ze szczególnym uwzględnieniem konstrukcji prętowych, przedstawiła cel i zakres rozprawy. Rozdział ten zawiera także syntetyczny przegląd literatury.

W rozdziale 2. Doktorantka przedstawiła koncepcję pochodnej topologicznej dla układów prętowych oraz analizę wrażliwości funkcjonału jakości.

Rozdział 3. zawiera opis koncepcji i zastosowanie skończonych modyfikacji topologii w optymalnym projektowaniu konstrukcji prętowych.

Rozdział 4. poświęcony jest optymalizacji topologicznej konstrukcji kratowych. Przedstawiono w nim sformułowanie problemu optymalizacji, procedurę sprowadzenia zagadnienia do problemu programowania liniowego oraz algorytm optymalizacji. W rozdziale tym przedstawionych jest sześć przykładów numerycznych optymalizacji ze względu na minimum kosztów przy sztywnościowych, naprężeniowych, wybojeniowych i geometrycznych warunkach ograniczających.

Rozdział 5. zawiera opis zagadnień optymalizacji topologicznej konstrukcji prętowych przy maksymalizacji obciążenia krytycznego. Przedstawiono w nim zagadnienia wrażliwości dla przypadku jednomodalnego i wielomodalnego, pochodną topologiczną ze względu na wprowadzenie podpory, warunki modyfikacji topologii oraz algorytm optymalizacji. Ilustracją tego zagadnienia są trzy przykłady numeryczne optymalizacji.

W rozdziale 6. przedstawiono zagadnienia optymalizacji topologicznej przy kryterium maksymalizacji drgań własnych. Sformułowano zagadnienia wrażliwości drgań dla przypadku jednomodalnego i wielomodalnego, pochodną topologiczną częstości drgań ze względu na wprowadzenie podpory oraz podano warunki modyfikacji topologii i przedstawiono algorytm optymalizacji. Wyniki zilustrowano trzema przykładami numerycznymi optymalizacji.

Podsumowanie rozprawy znajduje się w rozdziale 7.

Bibliografia jest obszerna i zawiera 111 pozycje literaturowe, związane tematycznie z rozprawą, z czego 3 pozycje są współautorstwa Doktorantki.

### **3. Ocena merytoryczna pracy**

Optymalizacja topologiczna należy do tych rodzajów optymalizacji, która jako nowa koncepcja pojawiła się najpóźniej i stanowi ciągle duże wyzwanie naukowe i inżynierskie.

W rozprawie doktorskiej podjęto ambitne i trudne zagadnienie zastosowania koncepcji pochodnej topologicznej do optymalizacji konstrukcji prętowych w postaci płaskich kratownic i ram.

Podjęcie tej tematyki badawczej należy uznać za trafne z uwagi na jej aktualność, znaczenie naukowe oraz możliwości aplikacyjne.

W rozprawie przedstawiono szeroki i rzetelny przegląd aktualnych badań z zakresu optymalizacji topologicznej, obejmujący zarówno stan wiedzy jak i stosowaną metodologię.

Oryginalna koncepcja pochodnej topologicznej, sformułowana przez Sokołowskiego i Żochowskiego, dotyczyła continuum materialnego.

W rozprawie znajdują się dwa kluczowe elementy, które wskazują jej istotne walory naukowe:

- (i) adaptacja koncepcji pochodnej topologicznej do zagadnień optymalizacji konstrukcji prętowych, poprzez wprowadzenie nowego elementu sprężystego w obszar konstrukcji prętowej i wyznaczenie wrażliwości funkcjonału jakości,
- (ii) sformułowanie i zastosowanie skończonych modyfikacji topologii w optymalnym projektowaniu konstrukcji prętowych, co w znaczący sposób skraca czas obliczeń w procesie optymalizacji.

W ramach rozprawy zostało sformułowane zagadnienie optymalizacji topologicznej dla kryterium minimum kosztu, przy ograniczeniach sztywnościowych, naprężeniowych, wyboczeniowych i geometrycznych, a także dla kryteriów maksymalizacji siły krytycznej przy wyboczeniu oraz maksymalizacji częstości drgań własnych. W tych dwóch ostatnich zagadnieniach warte podkreślenia jest uwzględnienie przypadku wielomodalności, tzn. powtarzających się wartości własnych.

Kluczową cechą recenzowanej pracy jest sformułowanie problemu optymalizacji topologicznej i warunków optymalności oraz sprowadzenie zagadnienia do problemu programowania liniowego.

Doktorantka opracowała skuteczny algorytm optymalizacji i jego implementację komputerową.

W pracy przedstawiono wiele przykładów numerycznych optymalizacji topologicznej opartej za opracowanym podejściu.

Otrzymane wyniki wskazują, że zaproponowana przez Doktorantkę metodologia jest właściwa, a opracowana autorska aplikacja komputerowa jest poprawna i elastyczna w zastosowaniach.

Struktura pracy jest logiczna i praca napisana jest jasno i przejrzysto. Strona edytorska nie budzi zastrzeżeń.

### **Uwagi dyskusyjne**

- (i) Jeśli funkcja celu nie jest funkcją wypukłą, to algorytm optymalizacyjny oparty na pochodnej topologicznej, a więc na współczynnikach wrażliwości, może utknąć w minimum lokalnym. Potwierdzają to uwagi Doktorantki na str. 100, gdzie pisze: „.....w przypadku optymalizacji topologii rozwiązanie optymalne nie zawsze jest jednoznaczne. Otrzymujemy bowiem często pewną liczbę rozwiązań równoważnych ...”. W jaki sposób można by zapewnić jednoznaczność otrzymanych rozwiązań?
- (ii) Doktorantka zajmując się optymalizacją konstrukcji prętowych ograniczyła się do płaskich konstrukcji prętowych. Jakie trudności metodologiczne oraz numeryczne mogą pojawić się w przypadku układów przestrzennych?
- (iii) W rozprawie założono, że pręty są wykonane z materiałów sprężysto-liniowych. Jak skomplikuje się opracowana metodologia, a zwłaszcza analiza wrażliwości w przypadku uwzględnienia dużych skończonych odkształceń konstrukcji oraz gdy równania konstytutywne prętów będą nieliniowe?

#### 4. Wniosek końcowy

Problematyka badawcza ocenianej pracy doktorskiej mgr inż. Anny Rębosz-Kurdek poświęcona jest rozwinięciu i zastosowaniu koncepcji pochodnej topologicznej do optymalizacji konstrukcji prętowych.

Doktorantka opracowała własne oryginalne podejście bazujące na skończonych modyfikacjach topologii, co w istotny sposób przyspieszyło proces optymalizacji.

Rozprawa zawiera wiele przykładów numerycznych optymalizacji topologicznej układów prętowych dla kryteriów optymalizacji i w warunków ograniczających mających praktyczne znaczenie inżynierskie.

Praca jest na wysokim poziomie naukowym i reprezentuje szeroki wachlarz zagadnień z zakresu optymalizacji topologicznej.

Doktorantka wykazała się dużą umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a osiągnięte oryginalne wyniki są istotnym wkładem do zastosowania nowych metod optymalizacji topologicznej, przy wykorzystaniu efektywnych narzędzi numerycznych.

Praca spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki i dlatego proponuję przyjęcie jej przez Radę Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej i dopuszczenie do publicznej obrony.

Jednocześnie z uwagi na wysokim poziom naukowy rozprawy, na który składa się opracowanie nowej i efektywnej metodologii optymalizacji topologicznej układów prętowych, zgłaszam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Anny Rębosz-Kurdek.

