

dr hab. inż. Bartosz Miller
profesor uczelni
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
tel. 178651623
e-mail: bartosz.miller@prz.edu.pl

Rzeszów, 6 listopada 2023 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Joachima Jarosza
Optymalizacja kształtu oraz warunków brzegowych
podzespołu układu oczyszczania spalin

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Pani prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej (nr pisma RDJMe.512.29.2023, datowane na 27 września 2023 roku) z informacją o powołaniu mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr. inż. Joachima Jarosza.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Joachima Jarosza zatytułowana *Optymalizacja kształtu oraz warunków brzegowych podzespołu układu oczyszczania spalin*, przygotowana pod kierunkiem Pana dra hab. inż. Adama Długosza, prof. PŚ.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

2.1. Ocena doboru tematu

Tematem pracy jest optymalizacja kształtu i warunków brzegowych osłony termicznej układu wydechowego silnika spalinowego samochodu osobowego. Doktorant stwierdza we wstępie do rozprawy, że przyszłość przemysłu samochodowego należy do elektromobilności, problem badawczy przedstawiony w rozprawie, mocno związany z działaniem silnika spalinowego, może być jednak traktowany szerzej. Rozprawa jest wynikiem zapotrzebowania z przemysłu i została przygotowana nie przez naukowca pracującego na co dzień na uczelni (w ośrodku badawczym) a przez praktyka zajmującego się modelowaniem i budową układów analizowanych w rozprawie. Zdaniem recenzenta jest to dowód na to, że tematyka pracy jest aktualna i ważna, odpowiada na zapotrzebowanie otoczenia społeczno-gospodarczego.

Tytuł pracy dobrze opisuje zakres prowadzonych badań. Zdaniem recenzenta mógł być sformułowany bardziej precyzyjnie i wprost odwoływać się do osłon termicznych, w obecnej wersji jest jednak prawidłowy i choć nieco ogólny („podzespół układu oczyszczania spalin” zamiast sugerowanego przez recenzenta wariantu „osłona termiczna układu oczyszczania spalin”) to dobrze opisuje badania przedstawione w pracy.

2.2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca doktorska podzielona jest na sześć rozdziałów, zawiera także wykaz piśmiennictwa oraz krótkie streszczenia w językach polskim i angielskim. Spis

piśmiennictwa zawiera 170 numerowanych pozycji. Autor rozprawy jest współautorem trzech cytowanych artykułów, wszystkie zostały napisane wspólnie z promotorem doktoratu. Całkowita objętość rozprawy to 155 strony (wraz ze streszczeniami).

Rozdział 1: WPROWADZENIE zawiera ogólne wprowadzenie oraz motywację do prowadzenia badań naukowych związanych z optymalizacją osłony termicznej układu wydechowego samochodów z silnikiem spalinowym. W rozdziale tym Autor sformułował także tezę, cele i zakres badań. Teza pracy jest następująca:

Zaproponowana metoda optymalizacji wybranych cech konstrukcyjnych osłon termicznych układów wydechowych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych, różnych algorytmów optymalizacji oraz metamodelowania z użyciem sztucznych sieci neuronowych jest skutecznym narzędziem wspomagającym i poprawiającym tradycyjne metody projektowania.

Sformułowano także cel główny pracy:

Opracowanie i opis metody optymalizacji kształtu i warunków brzegowych osłon termicznych stosowanych w układach wydechowych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych, różnych metod optymalizacji oraz metamodelowania w oparciu o sztuczne sieci neuronowe.

oraz cel poboczny:

Opracowanie elastycznej metody nowoczesnego projektowania umożliwiającej nie tylko skrócenie czasu projektowania i weryfikacji numerycznej ale również elastycznego definiowania i uwzględniania innych kryteriów jakości i ograniczeń.

Rozdział 2: OSŁONY TERMICZNE UKŁADÓW WYDECHOWYCH zawiera opis układów oczyszczania spalin stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym, z krótkim opisem historycznym oraz zestawieniem zadań, jakie powinien wykonywać nowoczesny układ oczyszczania spalin.

W ramach tego rozdziału przedstawiono i opisano główne podzespoły układu oczyszczania spalin, w tym zadania i sposób działania katalizatorów czy filtra cząstek stałych. Opisano także normy emisji spalin oraz procedury badawcze stosowane podczas badania emisji. W rozdziale tym można także znaleźć opis matematyczny drgającego układu o jednym dynamicznym stopniu swobody oraz ogólną charakterystykę drgań wywoływanych przez silnik spalinowy i ich wpływ na pracę układu wydechowego.

Opisano także zadania, cechy i budowę osłon termicznych układów wydechowych oraz stawiane przed nimi wymagania.

Rozdział 3: METODY ANALIZY OPTYMALNEGO PROJEKTOWANIA ROZPATRYWANEGO ZAGADNIENIA wprowadza podstawowe pojęcia związane z zagadnieniem optymalizacji (takie jak funkcja celu, ograniczenia, minima lokalne i globalne, optymalizacja jedno- i wielokryterialna, front Pareto, sposoby oceny jakości frontu Pareto, i inne) oraz omawia podstawowe, zarówno gradientowe jak i bezgradientowe, metody optymalizacji (Cauchy'ego, Newtona, Levenberga-Marquardta, metody ewolucyjne). Rozdział zawiera także krótkie omówienie Metody Elementów Skończonych (MES) oraz Sztucznych Sieci Neuronowych (SSN).

W drugiej części tego rozdziału przedstawiono wszystkie zastosowane w pracy metody optymalizacyjne z ich podziałem na te, które są dostępne w wykorzystanym w pracy pakiecie MES, oraz te zaimplementowane samodzielnie przez Doktoranta.

Rozdział 3 zawiera także opis kryteriów (funkcji celu) zastosowanych przez Doktoranta podczas rozwiązywania problemu badawczego (optymalizacja kształtu i warunków podparcia jednowarstwowej osłony termicznej układu wydechowego). W przypadku optymalizacji jednokryterialnej Doktorant definiuje jedną funkcję celu (minimalizacja maksymalnej wartości przemieszczenia wypadkowego) z dwoma ograniczeniami (maksymalna dopuszczalna wartość naprężenia zredukowanego Hubera-Misesa oraz maksymalna dopuszczalna wartość pierwszej częstotliwości drgań własnych osłony). W przypadku optymalizacji wielokryterialnej rozważane funkcje celu to minimalizacja maksymalnej wartości przemieszczenia wypadkowego, minimalizacja maksymalnej wartości naprężenia zredukowanego Hubera-Misesa oraz maksymalizacja wartości pierwszej częstotliwości drgań własnych osłony w odniesieniu do częstotliwości referencyjnej.

Rozdział 4: MODEL GEOMETRYCZNY ORAZ NUMERYCZNY OSŁONY – BUDOWA ORAZ WERYFIKACJA NUMERYCZNA rozpoczyna opis modelu geometrycznego optymalizowanej w pracy osłony termicznej ze wskazaniem tych parametrów modelu, które były rozważane jako parametry swobodne (zmienne projektowe) i dostrajane podczas optymalizacji. Doktorant wskazuje łącznie 20 parametrów: dwie współrzędne każdego z trzech punktów mocowania osłony, 12 parametrów opisujących położenie i kształt przetłoczeń oraz dwa parametry opisujące szerokość i głębokość przetłoczeń.

W dalszej części tego rozdziału znajduje się opis modelu MES w trzech wariantach (referencyjny oraz dwa modele uproszczone, M1 oraz M2, różniące się przede wszystkim sposobem modelowania dwóch z trzech zamocowań analizowanej osłony termicznej). Dla modelu referencyjnego przedstawiono także analizę siatki elementów skończonych

Rozdział 4 zamyka opis modelu zastępczego (metamodelu) zbudowanego z zastosowaniem SSN, opis ten zawiera zarówno koncepcję i cel zastosowania modelu zastępczego, jak i dobór architektury zastosowanej sieci neuronowej, funkcji aktywacji oraz parametrów algorytmu uczenia modelu zastępczego.

Rozdział 5: REZULTATY OPTYMALIZACJI to najważniejszy rozdział pracy, zawierający wyniki optymalizacji kształtu i warunków podparcia osłony termicznej układu wydechowego. Rozdział przedstawia wyniki optymalizacji jednokryterialnej z ograniczeniami wykonanej z zastosowaniem sześciu różnych algorytmów optymalizacyjnych (NLPQL, MISQP, ASO, NM, L-SHADE, EA), wyniki optymalizacji wielokryterialnej (algorytmy MOGA, NSGA-II oraz MOOPTIM) w czterech różnych wariantach różniących się zastosowanymi funkcjami celu oraz wyniki optymalizacji z zastosowaniem modelu zastępczego SSN.

Rozdział 6: PODSUMOWANIE, WNIOSKI ORAZ KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ to rozdział krótki, jedynie dwustronicowy. Przedstawia końcowe wnioski oraz kierunki przyszłych badań.

Recenzowaną pracę doktorską zamyka nienumerowany rozdział **BIBLIOGRAFIA**, zawierający spis 170 pozycji literaturowych, oraz jednostronicowe streszczenia w językach polskim i angielskim.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Układ pracy jest typowy dla prac doktorskich. Rozprawę rozpoczyna (rozdziały 2 i 3) przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie budowy układu wydechowego silnika spalinowego oraz osłony termicznej tego układu, zastosowanych w pracy metod numerycznych i optymalizacyjnych a także

podstaw sztucznych sieci neuronowych. W drugiej części pracy (rozdziały 4 i 5) Doktorant przedstawia budowę wykorzystanych w pracy modeli numerycznych oraz wyniki ich optymalizacji.

Zdaniem recenzenta proporcje długości tych dwóch zasadniczych części pracy (stan wiedzy oraz wyniki badań własnych) są niestety zaburzone, część pierwsza liczy 81 stron podczas gdy część druga ma jedynie 55 stron, z czego tylko 30 stron jest poświęconych prezentacji i omówieniu wyników badań własnych. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, że w części drugiej pracy (poświęconej omówieniu badań własnych) znalazły się podrozdziały powracające do opisu stanu wiedzy a niezwiązane bezpośrednio z badaniami własnymi Autora. Przykładem na to jest rozdział „4.4 Dyskretyzacja i dobór siatki” opisujący rodzaje elementów skończonych, funkcje kształtu oraz metody badania jakości siatki elementów skończonych.

Według recenzenta część pierwsza pracy powinna być skrócona, przykładowo zbędny jest szczegółowy opis układu wydechowego silnika spalinowego wraz z precyzyjnym opisem celu i zasad działania katalizatorów (i opisem zachodzących w nich reakcji chemicznych). Co więcej opis stanu wiedzy powinien być uporządkowany i pogrupowany, określone zagadnienia powinny zostać opisane w całości w jednym miejscu. Obecnie choćby zagadnienia dynamiki opisywane są w dwóch rozłącznych fragmentach pracy: dynamika układów o jednym stopniu jest opisana w rozdziale „2.1. Geneza tematu”, zaś dynamika układów w wielu stopniach swobody w rozdziale „3.7. Podstawy analizy MES układów sprężystych, termosprężystych oraz analizy modalnej”. Druga część pracy, w szczególności rozdział 5 prezentujący zasadnicze wyniki badań własnych autora, powinien być rozbudowany, przedstawione w tej części wykresy powinny być uzupełnione szczegółowym opisem i interpretacją otrzymanych wyników.

Teza pracy, ogólna i bezpiecznie sformułowana, została zdaniem recenzenta udowodniona. Recenzent nie ma wątpliwości, że oba cele pracy (główny i poboczny) zostały zrealizowane.

Zdaniem recenzenta na uznanie zasługuje zakres pracy oraz różnorodność podejść i wykorzystanych metod optymalizacyjnych. Doktorant przedstawił złożony problem optymalizacyjny z wielowymiarową przestrzenią zmiennych projektowych, podczas optymalizacji zastosował i zweryfikował podejścia jedno- i wielokryterialnej z ograniczeniami i bez ograniczeń, wykorzystał także sieciowy model zastępczy. Co ważne Doktorant nie ograniczył się jedynie do wykorzystania metod optymalizacyjnych dostępnych w zastosowanym komercyjnym pakiecie do obliczeń MES ale wykorzystał także algorytmy zewnętrzne, w tym jeden wymagający przygotowania własnej implementacji (MOOPTIM). Pewien niedosyt budzi bardzo skrótowy i skondensowany opis wyników badań własnych, recenzent nie ma jednak wątpliwości, że Doktorant udowodnił dobre przygotowanie teoretyczne, wykazał także, że dysponuje niezbędną wiedzą i umiejętnościami pozwalającymi na oryginalne rozwiązanie postawionego w pracy problemu naukowego.

Pomimo uwag opisanych powyżej (w szczególności wypunktowanych kolejnych rozdziałach recenzji) całość rozprawy doktorskiej recenzent ocenia pozytywnie. Nakład pracy włożony w opisanie w pracy badania numeryczne także zasługuje na uznanie. Cele pracy zostały zrealizowane a teza pracy została udowodniona.

4. Uwagi szczegółowe

4.1. Uwagi merytoryczne

Uwagi i pytania są uszeregowane według ich wagi, najważniejsze znajdują się na początku listy.

- A. Czy Doktorant może przedstawić podsumowanie korzyści ewentualnego zastosowania w produkcji zoptymalizowanej osłony termicznej? Czy optymalizacja skutkuje oszczędnościami finansowymi, usprawnieniem procesu technologicznego lub jego skróceniem? Może uzyskano jakieś inne efekty możliwe do zastosowania w praktyce?
- B. Recenzent ma wątpliwości dotyczące opisu kryteriów optymalizacji. We wzorze (3.109) na stronie 84 zapisano $f_{res} < f_{dop}$ podczas gdy z opisu wynika, że pierwsza częstotliwość f_{res} powinna być większa od wartości dopuszczalnej f_{dop} . Podobnie we wzorze (3.112) zapisano warunek wymuszający przekroczenie minimalnej odległości (w dziedzinie częstotliwości) od wartości f_{ref} co pozwala na otrzymanie wyniku z częstotliwością f_{res} mniejszą niż wartość graniczna, jest więc możliwe pojawienie się rezonansu z częstotliwością wymuszającą (pochodzącą od drgań silnika). Efektem takiego podejścia jest wynik w postaci pierwszej częstotliwości o wartości nawet 172 Hz (patrz str. 140), czyli znacznie poniżej maksymalnej wartości częstotliwości siły wymuszającej (230 Hz). Czy Doktorant może to skomentować i wyjaśnić?
- C. Położenie otworów montażowych, otrzymane w wyniku optymalizacji, jest praktycznie na granicy zoptymalizowanej osłony termicznej (patrz np. Rys. 5.17), czy nie byłoby zasadne wprowadzenie ograniczeń na współrzędne opisujące położenie otworów?
- D. Rozrzut wyników przedstawiony na Rys. 5.3 (i kolejnych, te rysunek został wskazany dla skupienia uwagi) wynosi ok. 0.016mm. Czy z praktycznego punktu widzenia, przy projektowaniu osłony termicznej, takie różnice mają jakieś znaczenie? Podobna wątpliwość dotyczy opisu choćby na str. 122: w wyniku optymalizacji otrzymano poprawę wartości przemieszczeń maksymalnych z 0.416mm na 0.3104mm, czyli o około 0.1mm. Jakie to ma znaczenie praktyczne?
- E. Brak konsekwencji w stosowaniu symboli i oznaczeń, zdarzają się skrótowe i nieprecyzyjne opisy wielkości we wzorach, np. na str. 19 częstość kołowa (ale nie częstotliwość jak to napisał Doktorant na str. 20) jest oznaczana zarówno jako ω oraz ω_0 . Niektóre symbole są błędnie opisane, np. P we wzorze (2.3) to nie jest siła wymuszająca a amplituda siły wymuszającej – siła wymuszająca w tym wzorze to $P\sin(\omega t + \varphi)$. Ta sama wielkość we wzorze (2.11) występuje jako F_m i opisana jest już prawidłowo jako amplituda siły wymuszającej. Najbardziej jaskrawym przykładem konfliktu oznaczeń jest zdaniem recenzenta stosowanie oznaczeń f_x na wartości funkcji celu, w kontekście pierwszej częstości własnej f_l oznacza nie wartość tej częstości ale wartość pierwszej funkcji celu.
- F. Czy planowane są badania doświadczalne weryfikujące wyniki otrzymane z optymalizacji? W zakładzie produkcyjnym być może możliwe będzie przygotowanie odpowiednich elementów i wykonanie doświadczenia weryfikującego wyniki optymalizacji.
- G. Dlaczego gradient temperatury (str. 94) przyjęto stały i równy $\Delta T = 60^\circ\text{C}$? Jakie znaczenie mogłoby mieć przyjęcie innego założenia, $\Delta T \neq \text{const}$?
- H. Dlaczego wyników optymalizacji wielokryterialnej nie przedstawiono na Rys. 5.24 (i późniejszych) w postaci frontów Pareto a jedynie w postaci chmury punktów?

- I. Recenzent prosi o szczegółowe wyjaśnienie różnic pomiędzy modelami MES bazowym, M1 oraz M2 w zakresie warunków brzegowych i zastosowania (lub nie) kontaktu między osłoną a podłożem oraz o szczegółową informację dotyczącą obciążeń rozważanych podczas przygotowywania danych do Tabeli 4.3. Zdaniem recenzenta opis zamieszczony w pracy jest niewystarczający.
- J. Dlaczego ograniczono się wyłącznie do jednej metryki frontów Pareto? Inne metryki opisują inne właściwości frontu Pareto, pełny obraz jakości porównywanych frontów można uzyskać jedynie po zastosowaniu i porównaniu wartości różnych metryk. W razie potrzeby jako True Pareto Front można zastosować obwiednię wszystkich frontów uzyskanych dla danego problemu z zastosowaniem różnych metod optymalizacyjnych.
- K. Wątpliwości recenzenta budzi porównanie czasu optymalizacji bez zastosowania sieciowego modelu zastępczego i z zastosowaniem modelu zastępczego. Czy uwzględniono w porównaniu czas potrzebny na generację wzorców niezbędnych do uczenia modelu zastępczego?
- L. Spis literatury jest niespójny, w części przypadków Doktorant podaje jedynie inicjał imienia autora, w innych przypadkach całe imię. Prowadzi to do zaskakujących pomyłek, przykładowo ten sam autor jest wymieniany jako Kalyanmoy Deb oraz Deb K. i w alfabetycznym spisie pozycje jego współautorstwa są zarówno pod literą 'D' (jak Deb K.) jak i 'K' (jako Kalyanmoy Deb). W części przypadków brakuje też obowiązkowych elementów, takich jak data dostępu w przypadku źródeł internetowych. Co więcej w spisie literatury należy wymieniać wszystkich współautorów, nie należy ograniczać się do pierwszego nazwiska i informacji 'i inni'.

4.2. Uwagi redakcyjne

- A. Część teoretyczna jest zbyt długa, opis układów spalinowych powinien zostać ograniczony wyłącznie do tych elementów, które są niezbędne w pracy (można np. pominąć szczegółowy opis działania katalizatorów oraz zachodzących w nich reakcji chemicznych).
- B. Język pracy budzi sporo zastrzeżeń, duża liczba błędów i usterek utrudnia czytanie pracy. Zauważone przez recenzenta błędy są zaznaczone na egzemplarzu pracy będącym do dyspozycji recenzenta. Poniżej wymieniono kilka grup najpoważniejszych usterek i błędów:
 - duża liczba błędów interpunkcyjnych,
 - stosowanie kolokwializmów,
 - literówki,
 - błędy stylistyczne i logiczne,
 - problemy z pisownią łącznie/rozdzielnie,
 - niepoprawne stosowanie określenia „ilość” w miejsce prawidłowego określenia „liczba”,
 - określenie „własności” jest nieprawidłowo stosowane w miejsce prawidłowego określenia „właściwości”,
 - nieprawidłowe użycie określenia „dedykowany” w znaczeniu „przeznaczony do”.
- C. Zdarzają się odnośniki „w przód” (np. str. 39 i odwołanie do rozdziału 3.2, str. 85 i odwołanie do rozdziału 4.1, str. 108 i odwołanie do rozdziału 5.3) lub do niewłaściwych elementów (np. na str. 75 jest odsyłacz do wzoru 3.92 podczas gdy prawdopodobnie powinno być do 3.90)

- D. W kilku miejscach brak odwołań do literatury przy powoływaniu się na zewnętrzne źródła (np. str. 8 „book of requirements” czy też Rys. 2.19 prawdopodobnie zaczerpnięty z literatury)
- E. Brak konsekwencji we wprowadzaniu skrótów i oznaczeń (np. WLTP (*Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*), RDE ‘*Real Driving Emission*’, filtr cząstek stałych (GPF) ‘*Gasoline Particulate Filter*’ – wszystkie na str. 18) a także kilkukrotne wprowadzanie tych samych skrótów (np. NURBS zostało zdefiniowane na str. 35 oraz 53) lub brak ich wyjaśnienia (np. NUMA, str. 56) lub błędne wyjaśnienie (MLP nie oznacza Multiperptron a Multi-layer perceptron, str. 66)
- F. Stosowanie oznaczeń czy symboli niewyjaśnionych w tekście (np. współczynnik Lambda na str. 10)
- G. Stosowanie zarówno kropki jak i przecinka do oddzielenia części całkowitej od ułamkowej liczby, nawet w tym samym wierszu (str. 94⁷: „stal austenityczna o module Younga $2,1 \cdot 10^5$ MPa, współczynniku Poissona 0,3 i gęstości $7.75 \cdot 10^{-9}$ kg/m³”)
- H. Pozostawianie samotnych liter na końcach wierszy. Inne błędy typograficzne nagminne w pracy to niekonsekwentne stosowanie wcięcia pierwszego wiersza akapitu, miejscowo brak wyjustowania (np. str. 10, pierwszy akapit)
- I. Opis niektórych rysunków jest nieczytelny, np. Rys. 5.4 i Rys. 5.5 na str. 117
- J. Na Rys. 4.22 brak biasów dla drugiej warstwy ukrytej SSN.
- K. Oś pozioma na Rys. 4.26 jest prawdopodobnie źle opisana. Czy zamiast „liczba iteracji” nie powinno być „numer wzorca”? Liczba iteracji jest widoczna na osi poziomej Rys. 4.27.
- L. Maksymalna wartość naprężeń na Rys. 4.9 to 480.42MPa, w opisie tego rysunku podano 511.01MPa. Skąd taka rozbieżność?
- M. W opisie Rys. 5.16 jako najlepsze rozwiązanie wskazano wynik otrzymany dla punktu startowego nr 9, na samym rysunku jako najlepszy wynik wskazano ten otrzymany dla punktu startowego nr 1. Skąd ta rozbieżność?
- N. Odsyłacz do wyników przedstawionych w zewnętrznym źródle (str. 127₄, odwołanie do pozycji [82], nawet autorstwa Doktoranta, nie powinien się zdaniem recenzenta pojawić. Omawiane wyniki powinny być zamieszczone w pracy, jeżeli są opublikowane w artykule i niezamieszczone w pracy to nie powinny być dyskutowane.
- O. W Tabeli 4.3 przy porównaniu złożoności modeli MES należy posługiwać się liczbą stopni swobody modelu a nie liczbą elementów skończonych.
- P. Gęstość stali $7.75 \cdot 10^{-9}$ kg/m³, podana na str. 94 (drugi akapit od góry), jest błędna.

5. Wniosek końcowy

Doktorant wykazał się znajomością wiedzy teoretycznej oraz umiejętnością planowania, przygotowania i prowadzenia symulacji numerycznych, udowodnił, że potrafi samodzielnie rozwiązać problem badawczy sformułowany jako optymalizacja kształtu i warunków podparcia osłony termicznej układu wydechowego silnika spalinowego.

Mając to na uwadze i uwzględniając również uwagi krytyczne sformułowane w niniejszej recenzji stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr. inż. Joachima Jarosza spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) w Art. 186.

Wnioskuje o przyjęcie pracy doktorskiej **Optymalizacja kształtu oraz warunków brzegowych podzespołu układu oczyszczania spalin** i dopuszczenie Pana mgr. inż. Joachima Jarosza do publicznej obrony.



Bartosz Miller