

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Rafała Kieszka
pt.

„Wykorzystanie algorytmu opartego na sztucznych sieciach neuronowych do
optymalizacji elementów wirujących silnika turbinowego”

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa
Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 2.11.2022 roku
na podstawie uchwały Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” z dn. 28.09.2022 r.

W ostatnich latach optymalizacja stała się bardzo popularnym narzędziem udoskonalenia różnego rodzaju rozwiązań zarówno technicznych jak i wychodzących poza tę dziedzinę. Zastosowanie optymalizacji daje widoczną poprawę efektywności działania różnych urządzeń jak i złożonych procesów technologicznych. Zastosowanie optymalizacji wiąże się często z wykonaniem szeregu złożonych obliczeń, które muszą być wielokrotnie powtarzane, ze względu na iteracyjny charakter obliczeń w algorytmach optymalizacji. Generuje to znaczny koszt obliczeniowy, zwłaszcza w przypadku gdy pojedynczy przypadek wymaga złożonych obliczeń, np. analizy przepływów metodami CFD czy analizy strukturalnej z użyciem MES. Pomimo ciągle zwiększającej się mocy obliczeniowej współczesnych komputerów, opracowanie sprawniejszych algorytmów jest nadal istotnym problemem. Praca doktorska mgr inż. Rafała Kieszka przedstawia zastosowanie algorytmu wykorzystującego sztuczne sieci neuronowe do optymalizacji (minimalizacji masy) elementów wirujących silnika turbinowego przy zapewnieniu odpowiedniego poziomu naprężeń. Postawione zadanie ma na celu zmniejszenie kosztów obliczeniowych. Autor rozprawy podjął się zadania, gdzie głównym kosztem były złożone analizy MES. Zmniejszenie niezbędnej liczby przypadków analiz strukturalnych było kluczowe dla uzyskania pozytywnych wyników. Uważam zatem, że temat rozprawy jest aktualny, zarówno z technicznego oraz badawczego punktu widzenia oraz istotny w procesie projektowania nowych konstrukcji lotniczych, zarówno silników jak i płatowców.

Rozprawa podzielona jest na 6 rozdziałów głównych oraz spisy literatury, tabel, rysunków i ważniejszych oznaczeń stosowanych w tekście. Wstęp, wnioski końcowe, elementy nowości oraz kierunki dalszych prac zostały zapisane w odrębnych

rozdziałach, co znacząco wpływa na czytelność pracy. Uzupełnieniem pracy są załączniki zawierające kod programu w języku MATLAB oraz przykład obliczeniowy. Praca jest zapisana na 175 stronach. W pracy zamieszczono 89 rysunków oraz 15 tablic z danymi i wynikami obliczeń. Bibliografia zawiera 120 pozycji, gdzie większość to pozycje aktualne a wiele z nich jest datowanych po 2020 roku.

W Rozdz.1 (Analiza stanu wiedzy) dokonano przeglądu literatury dotyczącej stosowania sztucznych sieci neuronowych (SSN) w zagadnieniach związanych z lotnictwem a w szczególności w obszarach dotyczących silników odrzutowych, zarówno w projektowaniu jak i diagnostyce lotniczych zespołów napędowych. W rozdziale tym autor formułuje tezę rozprawy stwierdzając, że „połączenie MES i SSN pozwoli stworzyć efektywny pod względem czasu obliczeń program do analizy wytrzymałościowej elementów zespołów wirnikowych”.

W Rozdz.2 (Algorytmy sztucznej inteligencji) przedstawiono wykorzystane przez autora algorytmy sztucznej inteligencji, tj. algorytm genetyczny z modyfikacjami oraz sztuczne sieci neuronowe. Druga część rozdziału to wyniki badań testowych, w których wykazano poprawność proponowanej metody. Wybrano trzy przypadki: belka wysięgnikowa, tarcza sprężarki osiowej, tarcza profilowana.

W Rozdz.3 (Metamodel oparty na SSN do optymalizacji tarczy sprężarki osiowej) przedstawiono algorytm zastosowany do optymalizacji tarczy sprężarki. Czas obliczeń porównano z czasem działania algorytmu opartego wyłącznie na MES. Wynik porównań wskazuje na słuszność postawionej tezy rozprawy.

Rozdz.4 (Funkcja celu i kary do optymalizacji konstrukcji wirnika tarczowo-bębnowego) przedstawia obiekt będący następnie przedmiotem analiz – silnik turbinowy AL.-21F3. Sformułowano funkcję celu – minimalizację masy tarczy. Naprężenia dopuszczalne stanowią w postawionym zadaniu więzy, które uwzględniono poprzez dodanie do funkcji celu prostego wyrazu kary.

Rozdz.5 (Dobór struktury i metody uczenia sieci neuronowej) przedstawia badania numeryczne przeprowadzone w celu doboru optymalnej metody uczenia SSN oraz architektury algorytmu.

Rozdz.6 (Wyniki optymalizacji) przedstawia finalne wyniki optymalizacji wirnika sprężarki silnika AL21-F3, będące swojego rodzaju walidacją zaprezentowanej w rozprawie metody poprzez porównanie z wynikami obliczeń z zastosowaniem jedynie analiz MES.

We „Wnioskach końcowych” autor dokonuje podsumowania opracowanej metodyki oraz wyników opisanych szczegółowo w poprzednich rozdziałach. Zaprezentowana perspektywa dalszych badań pokazuje duży potencjał opracowanej metodyki i możliwości jej doskonalenia do innych analiz strukturalnych.

Nowości naukowe stanowiące oryginalny dorobek doktoranta

Uważam, że rozprawa doktorska wpisuje się w aktualny cykl badań prowadzonych zarówno w Polsce jak i na świecie. Zaprezentowana metodyka z zastosowaniem zmodyfikowanego algorytmu genetycznego oraz SSN w celu zastąpienia złożonych analiz MES w kolejnych iteracjach (kolejne pokolenia) jest bardzo obiecująca i wartościowa przede wszystkim z punktu widzenia naukowców i inżynierów lotniczych. Praca przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i stanowi znaczący wkład w rozwój nowoczesnych technik projektowania.

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe autora należy uznać:

1. Autorską modyfikację algorytmu genetycznego polegającą na zmiennej chwilowej przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych.
2. Opracowanie oryginalnej metodyki optymalizacji, w której „twarde obliczenia” zostają zastąpione przez SSN, co znacząco zmniejsza czas obliczeń.

Krytyczna ocena rozprawy

Uwagi krytyczne odnoszą się raczej do spraw pobocznych lub zaniechań i nie wpływają zasadniczo na sumaryczną ocenę pracy. Najważniejsze uwagi krytyczne dotyczą następujących zagadnień:

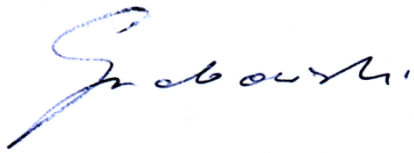
1. Wybór algorytmu genetycznego nie jest w pełni uzasadniony przez autora. Istnieje wiele metod ewolucyjnych, które, jak się wydaje mogłyby być z powodzeniem połączone ze sztucznymi sieciami neuronowymi, jak na przykład metoda roju cząstek.
2. Wymienione przez autora modyfikacje oryginalnego algorytmu genetycznego nie są opisane – rodzaj modyfikacji jest wspomniany dość lakonicznie.
3. Obiekt wybrany do badań jest już czysto historyczny (silnik opracowany w ZSRR ponad 50 lat temu) z punktu widzenia techniki lotniczej i, jak z resztą pisze autor, nie było możliwe odnalezienie zaleceń konstrukcyjnych stosowanych w ZSRR, co znacznie osłabia znaczenie finalnych wyników. Znacznie ciekawsze byłoby sprawdzenie możliwości metody do optymalizacji konstrukcji znacznie nowszych.

W pracy nie dostrzegłem poważniejszych błędów merytorycznych czy metodycznych – praca jest efektem badań poprawnych warsztatowo i zgodnych ze współczesną wiedzą.

Wnioski końcowe

W zakończeniu stwierdzam, że wniesione uwagi i zastrzeżenia nie mają zasadniczo negatywnego wpływu na moją ocenę rozprawy jako całości. Wyrażam nadzieję, że pomogą doktorantowi w doskonaleniu warsztatu badawczego i dalszym kontynuowaniu tej tematyki badawczej.

W podsumowaniu swojej recenzji stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego wpisującego się w zakres inżynierii mechanicznej. Wskazuje jednoznacznie na dobre opanowanie przez autora zagadnień optymalizacji oraz sztucznych sieci neuronowych. Tym samym spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce”, wnoszę więc o dopuszczenie mgr inż. Rafała Kieszka do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.



Tomasz Goetzendorf-Grabowski