

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Przemysława DREŹKA
pod tytułem
„Surogate Model-based Aerodynamic Optimization
of Aircraft Engine Air-intake Duckt”**

1 TEMATYKA ROZPRAWY

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Drężka pod tytułem „Surogate Modelbased Aerodynamic Optimization of Aircraft Engine Air-intake Duckt” została wykonana na podstawie decyzji Rady Naukowej Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 11 stycznia 2023 roku.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa została napisana w języku angielskim, składa się z sześciu rozdziałów, streszczeń w językach polskim i angielskim, wykazów: oznaczeń, skrótów, rysunków, tabel, bibliografii. Zawarta została łącznie na 147 stronach (numery stron od I do XXII oraz 1 do 125), zawiera 43 rysunki, 7 tabel, wykaz wykorzystanych źródeł zawiera 202 pozycje. Praca została zrealizowana w ramach programu doktoratów wdrożeniowych.

Doktorant w przedstawionej mi do recenzji rozprawie doktorskiej poruszył jeden z aspektów nowoczesnego rozwoju technologicznego, który coraz częściej jest kluczowym czynnikiem wpływającym na sposób opracowania nowych oraz modyfikację już istniejących urządzeń. Ochrona środowiska w tym zmniejszenie szkodliwego oddziaływania technologii oraz działań człowieka na niego, stały się drogowskazem wskazującym obecnie coraz częściej kierunki badań. Niniejszy nurt jest również zauważalny w działaniach producentów, ośrodków badawczych oraz regulatorów działających w branży lotniczej. Obecnie na całym świecie prowadzone są szeroko zakrojone badania mające na celu między innymi zmniejszenie emisyjności lotnictwa. Prace w tym obszarze skupiają się w dwóch nurtach tj. poszukiwaniu nowych rozwiązań napędów lotniczych oraz modyfikacji już istniejących. W związku z powyższym podejmowane są działania zmierzające do zwiększenia sprawności całych zespołów napędowych oraz silników lotniczych. Autor w pracy podkreśla związek swoich badań w wymienionych wyżej tendencjami już w pierwszym rozdziale

powołując się na raporty sporządzone przez firmy Airbus, Boeing oraz Komisję Europejską i Europejską Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego.

Jedną z możliwości działania w w/w kierunku jest poszukiwanie nowych metod i technik badawczych udoskonalających proces projektowy, w tym skuteczniejszą optymalizację końcowego produktu pod względem kryteriów promujących wspomniany wcześniej cel.

W recenzowanej rozprawie przedstawiono rozwój i dwa przykładowe przypadki zastosowania środowiska badawczego opartego na zastępczym modelu symulacyjnym obiektu. Całościowo przedstawiono metodę postępowania w tym omówiono narzędzia wykorzystane do przygotowania eksperymentu symulacyjnego, możliwe do zastosowania metody optymalizacji, przeanalizowano otrzymane wyniki.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska swoją tematyką wpisuje się w nurty badawcze z tych obszarów w Polsce, Europie i na świecie. Podjęte w pracy badania nie dają odpowiedzi na wszystkie pytania związane z przedstawionym zagadnieniem, jednak zaproponowane przez Doktoranta rozwiązania mogą być korzystną i ciekawą propozycją dla inżynierów nie tylko tych działających w obszarze aerodynamiki czy ogólnie lotnictwa.

2 CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Jak już wspomniano w niniejszej recenzji, rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach programu doktoratów wdrożeniowych. Realizowane w ten sposób prace doktorskie mają swoją specyfikę. Zgodnie z założeniami programu powinny rozwiązywać konkretny problem, a wyniki przeprowadzonych badań powinny zostać wykorzystane praktycznie. Z tego powodu obok aspektu naukowego, w porównaniu z typowymi pracami doktorskimi, znacznie wyraźniej uwypuklony jest w nich aspekt użytkowy, praktyczny przeprowadzonych badań. Niemniej jednak podstawowy cel rozprawy doktorskiej, czyli zdobycie i prezentacja nowej wiedzy musi zostać zachowany.

Zasady przygotowania prac doktorskich definiują trzy podstawowe typy nowości będące podstawą do dopuszczenia rozprawy do obrony. Jedną z nich może być nowe zastosowanie znanej metody (narzędzia) zastosowane do rozwiązania znanego problemu, przynoszące nowe nieznanne do tej pory wyniki lub korzyści. Przedstawiona mi do recenzji rozprawa wpisuje się w ten typ prac.

Struktura, układ rozdziałów recenzowanej pracy są typowe dla prac doktorskich i odzwierciedlają proces badawczy przeprowadzony przez Doktoranta. W tym miejscu należy zaznaczyć, że w pracy nie wyodrębniono klasycznego fragmentu, który czysto pokazuje rdzeń naukowy pracy. Informacje dotyczące „nowości” opracowanej przez Doktoranta zostały zamieszczone w trzech rozdziałach i połączone z opisem eksperymentów komputerowych. Takie ujęcie tematu w przypadku prac doktorskich realizowanych w ramach programu doktoratów wdrożeniowych, ze względu na ich cechy praktyczne, w mojej ocenie jest podejściem prawidłowym.

W pierwszym rozdziale zatytułowanym „Introduction”, wspierając się przytaczanymi źródłami literaturowymi Autor pracy przedstawia ogólny zarys zagadnienia analizowanego w rozprawie. Odwołuje się przy tym do celów

zdefiniowanych przez Komisję Europejską. Na ich tle lokuje badania związane z podniesieniem efektywności napędów lotniczych, w tym badania mające na celu zmniejszenie strat ciśnienia powietrza docierającego do komory spalania generowanych przez wloty powietrza silników turbośmigłowych. Przedstawia zjawiska fizyczne rządzące tym procesem oraz potencjalne problemy eksploatacyjne w przypadkach, gdy zostaje on zakłócony. Wprowadzając czytelnika w tematykę rozprawy doktorant w ogólny, skrótowy sposób prezentuje najnowsze trendy w projektowaniu układów aerodynamicznych. Zwraca przy tym uwagę na wykorzystanie narzędzi CFD (Computational Fluid Dynamics), zastosowanie modeli zastępczych oraz problemy związane z przygotowaniem eksperymentów komputerowych.

W tym rozdziale Doktorant przedstawił także cel pracy:

„Construct a metamodel-based optimization framework from contemporary components that can improve the efficiency of the air intake duct aerodynamic design process while identifying configurations that outperform conventionally optimized solutions.”

W tłumaczeniu, celem pracy jest skonstruowanie środowiska optymalizacyjnego opartego na metamodelach oraz wykorzystującego inne nowatorskie rozwiązania, które poprzez efekt synergii zwiększą sprawność/wydajność procesu projektowania i optymalizacji aerodynamicznej układów dolotowych silników lotniczych.

Niestety w pracy nie zawarto w sposób jawny naukowej tezy rozprawy doktorskiej, co początkowo utrudnia analizę pracy, ponieważ brakuje informacji jakim problemem naukowym zajmował się Doktorant. Na podstawie lektury rozprawy można się domyślić, że teza pracy w przybliżony sposób brzmi następująco:

W oparciu o metamodelę i wybrane ze stanu wiedzy komponenty można stworzyć algorytm optymalizacyjny, który nie tylko poprawi sprawność procesu, ale też pozwoli uzyskać rozwiązania bardziej efektywne niż otrzymywane z pomocą obecnie wykorzystywanych technik optymalizacyjnych

Rozdział 2 zatytułowany „Review of aerodynamic optimization aspects”, Autor rozpoczyna od pobieżnego ogólnego wprowadzenia w zagadnienie optymalizacji wskazując podstawowe cele, cechy procesu optymalizacji. Zwraca uwagę na jeden często pomijany praktyczny aspekt działań optymalizacyjnych. To znaczy wskazanie momentu, gdy przyrost korzyści w efekcie kolejnych iteracji jest niewspółmierny do wydatkowanych środków na ich przeprowadzenie. W przypadku komercyjnych prac, które muszą uwzględniać ponoszone nakłady finansowe nieprawidłowo wybrany kompromis między jakością a ceną może decydować sukcesie lub klęsce przedsięwzięcia.

Zawarte w tej części pracy informacje wprowadzają czytelnika w zagadnienie, wskazują na obszar badań, którym Doktorant zajmuje się w dalszych rozdziałach. Bardziej precyzyjnie lokują jego osiągnięcia w obszarze zagadnień optymalizacyjnych.

Bardzo ciekawe w mojej ocenie, wskazujące na ogromną wiedzę Doktoranta w poruszonym temacie, a przy tym rzetelnie przygotowane są rozdziały 2.2 i 2.3. W pierwszym z nich zwięźle i zrozumiale przedstawiono podobieństwa i różnice pomiędzy wybranymi metodami optymalizacji niewykorzystującymi modeli zastępczych. Natomiast w rozdziale 2.3 obok przedstawienia istoty metod optymalizacyjnych wykorzystujących modele zastępcze zwrócono uwagę na różnice w przygotowaniu eksperymentów rzeczywistych i komputerowych. Autor, według mnie trafnie zauważa, że metody przygotowania eksperymentu właściwe dla pierwszych z nich nie muszą być właściwymi dla drugich. Pomimo pozornej oczywistości powyższego stwierdzenia, w tym rozdziale Doktorant poprzez swoje analizy rzetelnie go udowadnia.

Jednym z zagadnień przygotowania eksperymentu (rzeczywistego i symulacyjnego) jest wybór punktów obliczeniowych, czyli takich zestawów parametrów, aby otrzymane wyniki były reprezentatywne. Doktorant przedstawił kilka wybranych metod wyboru w/w punktów. Pokazując ich cechy logicznie i rzeczowo wyjaśnia, dlaczego ostatecznie zdecydował się zastosować model Kriging.

W tej części pracy zastrzeżenia budzi niezgodność między tytułem, a zawartością rozdziału 2.5. Tytuł „Review of parametrization techniques” oraz pierwsze zdania rozdziału sugerują, że znajdują się w nim opisy metod, technik parametryzacji zjawiska, procesu, przedmiotu optymalizacji. Natomiast zawartość rozdziału to prezentacja szeregu metod pozwalających opisać, zdefiniować – za pomocą wybranych parametrów – kształty. Należy zaznaczyć, że merytorycznie treść rozdziału jest jak najbardziej uzasadniona. Przedstawione cechy opisanych metod wprowadzają czytelnika w głębiej w tematykę pracy przybliżając jej główny cel uzasadniając wykonane badania.

Rozdział trzeci jest ostatnim z rozdziałów przybliżających czytelnikowi zagadnienie. Lektura rozdziału jest mozolna i nudna, jednak jego celem nie jest nauczenie czytelnika. Doktorant zawarł w nim skrótowy, bardzo syntetyczny opis aparatu matematycznego wykorzystanego w różny (jawny i niejawny) sposób na etapach przygotowania i przeprowadzenia eksperymentów komputerowych. Rozdział prezentuje, jak szerokie zagadnienie jest poruszone w pracy oraz zwraca uwagę na umiejętne połączenie przez Doktoranta w swoich badaniach wielu metod i narzędzi.

Rozdziały czwarty i piąty są rozdziałami doświadczalnymi, prezentują dwa przypadki eksperymentów. Doktorant pokazuje w nich, jak można zastosować opracowany przez siebie algorytm postępowania, wykorzystujący narzędzia opisane w rozdziałach drugim i trzecim do rozwiązania zagadnienia optymalizacji kształtu kanałów dolotowych powietrza w silniku turbinowym zamontowanym na samolocie I-31T. W tym miejscu należy zaznaczyć, że punktem wyjścia nie był przypadkowy początkowy kształt kanałów dolotowych. Został on wcześniej dobrany i zoptymalizowany w innych pracach realizowanych w Instytucie Lotnictwa. W rozdziale czwartym, cel zadania optymalizacyjnego został zdefiniowany jako minimalizacja strat w postaci spadku ciśnienia powietrza docierającego do silnika (wzór 4.1) i współczynnika zaburzeń (wzór 4.2). Niestety, w rozdziale piątym opisującym drugi eksperyment nie zdefiniowano w jawny sposób celu optymalizacji.

Na podstawie lektury pracy domyślam się, że jest on taki sam jak zdefiniowany w rozdziale czwartym dla pierwszego przypadku eksperymentu.

W przypadku pierwszego eksperymentu zdefiniowano zmienne projektowe oraz nałożone na nie ograniczenia. Doktorant wyjaśnia również, dlaczego wprowadza dodatkowe zmienne oraz wydłuża kanał dolotowy. Uważam, że w przypadku doktoratu wdrożeniowego tego typu wyjaśnienia, mimo braku ich znaczenia naukowego mają swoje uzasadnienie ze względu na późniejsze praktyczne wykorzystanie wyników pracy.

Zgodnie z opracowaną metodyką w następnym kroku Doktorant sięga po gotowe narzędzie obliczeniowe. „czarną skrzynkę”, która na podstawie przygotowanych danych oblicza parametry pracy obiektu – w tym przypadku parametry przepływu powietrza przez kanał. W takim podejściu rozdział 4.4.1. przedstawiający równania opisujące przepływ płynu jest nieuzasadniony. Po wyborze narzędzia i wykorzystaniu go jako „czarnej skrzynki” proces obliczeniowy nie zależy od prowadzącego eksperyment. Dodatkowo, tak naprawdę szczegółowo nie wiadomo jaki dokładnie algorytm obliczeniowy jest zaimplementowany w wykorzystanym oprogramowaniu.

Swoją dojrzałość jako inżynier i naukowiec Doktorant wykazuje w końcowej części rozdziału czwartego. Zastosował narzędzie, traktowane jako „czarna skrzynka”, ale nie podchodzi bezkrytycznie do otrzymanych wyników. Przygląda się im, porównuje, analizuje sensowność i dopiero wtedy wyciąga ostateczne wnioski. Przeprowadzone w tej części pracy analizy i sposób ich opisu wskazują, że Doktorant rozumie poruszony problem optymalizacji, rozumie zjawiska fizyczne rządzące fizycznym procesem przepływu, w każdym kroku postępowania potrafi zinterpretować i ocenić otrzymywane wyniki obliczeń.

Stosując opracowaną przez siebie metodykę uzyskał parametry przepływu korzystniejsze ze względu wybraną funkcję celu w porównaniu do pierwotnych wynikających z oryginalnego kształtu kanałów. W przypadku pierwszego eksperymentu poprawa nie jest spektakularna, jednak wskazuje na prawidłowe działanie metody, wykazuje jej przydatność i sensowność.

Jest to bez wątplenia osiągnięcie Doktoranta

W drugim eksperymencie opracowana przez doktoranta metodyka została zastosowana do przypadku, w którym wynikowy kształt kanałów dolotowych ma zapewnić optymalne osiągi nie w jednym wybranym stanie lotu, lecz w procesie eksploatacji samolotu w różnych stanach lotu – trzy stany lotu różniące się między sobą prędkością i wysokością.

Podobnie jak w poprzednim przypadku została zdefiniowana funkcja celu, opracowany model zastępczy i przygotowane dane do obliczeń komputerowych. Opisując drugi eksperyment Doktorant w pracy umieścił dwa rozdziały, w których przedstawił jakość odwzorowania zapewnianą przez otrzymany metamodel oraz przeprowadził analizę czułości metamodelu na zmiany zmiennych projektowych. O ile pierwsze wspomniane wyżej zagadnienie jest formą potwierdzenia poprawności postępowania, wskazuje na sensowność i wiarygodność otrzymane wyniki, to drugie

z nich ma znaczenie praktyczne. Wskazuje w jakim obszarze należy się poruszać poszukując rozwiązań, aby uzyskać prawdopodobnie największą skuteczność symulacji.

Po lekturze rozdziałów czwartego i piątego nasuwa się spostrzeżenie, że powinny one mieć taką samą strukturę i przedstawiać podobne analizy. Wtedy porównanie działania metody, analizowanych cech wyników cząstkowych i ich wpływ na wynik końcowy byłoby czytelniejsze. Niestety, w jednym rozdziale Doktorant zwraca uwagę na jedno zagadnienie, a w drugim rozdziale na inne. Wprowadza to pewnego rodzaju niespójność. Doktorant nie wyjaśnia, dlaczego wybrał jako ważne np. sprawdzenie poprawności modelowania turbulencji w pierwszym przypadku, a sprawdzenie czułości modelu i jakości odwzorowania oferowanej przez metamodel w drugim.

Podsumowując swoją pracę w rozdziale szóstym Doktorant zwraca uwagę na pięć cech opracowanej metody i działania zastosowanych w niej narzędzi matematycznych. Elastyczność przedstawionego rozwiązania, jego skalowalność, redukcja liczby iteracji niezbędnych do osiągnięcia rozwiązania, redukcja liczby punktów obliczeniowych są cechami opracowanej metody, które mają bez wątpienia znaczenie praktyczne.

3 PRZYJĘTA METODYKA BADAŃ

Zastosowana przez doktoranta metodyka badań jest typową dla prac skupiających się na analizie danych, modelowaniu systemów czy też zagadnieniach optymalizacji. Większy niż w przypadku klasycznych rozpraw doktorskich nacisk na aspekty praktyczne, jest zgodny ze specyfiką doktoratów wdrożeniowych. Badania opisane przez Doktoranta składają się kolejno z etapów: przedstawienia problemu, wyboru narzędzi, przygotowania danych, budowy modeli i weryfikacji ich działania w końcowym etapie badań oraz z analizy otrzymanych wyników.

Zastosowana metodyka jest według mnie wystarczająca dla prawidłowego przeprowadzenia opisanych w pracy badań i pozwala na wykonanie wszystkich niezbędnych działań zmierzających do realizacji celu pracy i udowodnienia postawionej tezy.

Pod względem merytorycznym praca jest przygotowana prawidłowo zawiera wszystkie niezbędne elementy.

4 WYNIKI BADAŃ

Jak już wcześniej wspomniałem w niniejszej recenzji celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metodyki przygotowania i przeprowadzenia eksperymentów, która korzystając z dostępnych narzędzi symulacyjnych pozwoli zmniejszyć nakłady niezbędne do przeprowadzenia procesu optymalizacji, jednocześnie nie degradując jakości tego procesu.

Jako przykłady obliczeniowe obrazujące sposób działania oraz potencjalne korzyści płynące z opracowanej metody zostały wybrane dwa przypadki optymalizacji kształtu kanałów dolotowych powietrza do silnika turbinowego w samolocie I-31T z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS, jako narzędzia obliczeniowego. W obu przypadkach zmiana kształtu kanałów skutkowałą poprawą wartości wybranych parametrów przepływu powietrza kanałach w stosunku do kształtu początkowego.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że podstawowym wynikiem pracy nie była właściwie niewielka, kilku procentowa poprawa charakterystyk przepływu, a

działająca uniwersalna metoda przygotowania i przeprowadzenia eksperymentów.

Zmieniając parametry funkcji celu, wykorzystany model czy narzędzie obliczeniowo-symulacyjne można ją zastosować do rozwiązania zagadnień z różnych dziedzin.

5 UWAGI KRYTYCZNE

Mimo wysokiego poziomu merytorycznego całej rozprawy oraz bardzo starannego przygotowania technicznego, autor nie ustrzegł się kilku błędów.

Autor bardzo głęboko ukrył sedno swoich badań oraz wkład w jego opracowanie. Rysunek 12, który przedstawia opracowany przez Doktoranta algorytm postępowania został umieszczony w pracy, jak gdyby mimochodem, gdzieś na końcu rozdziału drugiego. A przecież elementy pojawiające się w w/w schemacie ich lokalizacja i wzajemne relacje decydują o użyteczności opracowanej metodyki. Wszystko to jest efektem wieloletniej pracy i zdobytej wiedzy. W mojej opinii w pracy brakuje rozdziału, który dokładnie omawia przedstawioną metodykę, pokazując przydatność i efekty działania każdego elementu algorytmu. W ten sposób Doktorant mógłby pokazać przebieg swoich badań, a nie tylko otrzymane wyniki.

Doktorant w pracy bardzo skrótowo, lakonicznie przedstawia zagadnienia związane z dynamiką płynów. Oczywiście rozprawa doktorska nie jest podręcznikiem i nie ma na celu uczenia czytelnika, jednak, ponieważ celem pracy było opracowanie metodyki, a zagadnienia dynamiki płynów posłużyły do przedstawienia sposobu jej działania, są tłem tego celu, to bardziej dydaktyczne podejście mogłoby ułatwić analizę i zrozumienie rozprawy osobom nie osadzonym tak głęboko jak Autor w tych zagadnieniach.

Pod względem technicznym, edycyjnym praca jest przygotowana bardzo starannie. Można mieć drobne zastrzeżenia do rozmiaru czcionki opisów na rysunkach, czy doboru kolorów na rysunku 21. Są to jednak drobiazgi niemające żadnego znaczenia w końcowej ocenie recenzowanej rozprawy.

6 WNIOSKI KOŃCOWE

Mimo wymienionych we wcześniejszych rozdziałach niniejszej recenzji uwag krytycznych do opiniowanej rozprawy uważam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska pana mgr. inż. Przemysława Drężka charakteryzuje się bardzo dobrym i spełniającym w całym zakresie wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi poziomem merytorycznym. Przedstawia indywidualne nowatorskie praktyczne i naukowe osiągnięcie naukowe Doktoranta w obszarze optymalizacji z wykorzystaniem silnika lotniczego oraz samolotu jako obiektu badań. Opisane w rozprawie osiągnięcie może być wykorzystane w jego przyszłych badaniach naukowych. Dodatkowo jest one na tyle uniwersalne, że może być wykorzystane jako

narzędzia przez innych badaczy w różnych obszarach inżynierii mechanicznej i nie tylko. Lektura rozprawy przekonuje, że Doktorant posiada bardzo dużą wiedzę w zakresie tematyki poruszanej w pracy i potrafi ją prawidłowo wykorzystać w swoich badaniach. Pan mgr inż. Przemysław Drężek w pełni posiada umiejętność formułowania celu naukowego badań, zna metodyki prowadzenia badań naukowych oraz potrafi wyciągać wnioski poparte wiedzą posiadaną w obszarach objętych przedstawioną rozprawą.

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, zgodnie z warunkami określonymi w art. 13 ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki”.

Rogalski Tomasz