



Bielsko-Biała, dnia 7 lipca 2023 r.

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Pauliny Maślanki

Numerical modeling and sensitivity of aerodynamic characteristics to shape and material properties of paraglider

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w oparciu o Uchwałę Nr 47/6/11K/2023 Rady do spraw Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa z dnia 6 czerwca 2023 roku w sprawie powołania Komisji Doktorskiej w postępowaniu o nadanie mgr inż. Paulinie Maślance stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, powołując mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pani mgr inż. Pauliny Maślanki, o czym poinformowany zostałem przez Przewodniczącą Rady do Spraw Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa Panią Prof. dr hab. inż. Barbarę Błażejczyk-Okolewską pismem z dnia 7 czerwca 2023r.

2. Kryteria oceny rozprawy

Biorąc pod wymagania na podstawie art. 192 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2023 roku poz. 742), 4 ust. 2 Uchwały nr 21/2021 Senatu Politechniki Łódzkiej z dnia 26 maja 2021 r. z późn. zm. w sprawie określenia postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz szczegółowego trybu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, podczas oceny rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Maślanki przyjąłem następujące kryteria: znaczenie, aktualność i oryginalność podjętej tematyki, stopień rozeznania Autorki w przedmiotowym obszarze badań, poprawność

sformułowania celów i hipotez badawczych, zasadność zastosowania metodyki badań, spójność struktury rozprawy oraz jej stronę warsztatową.

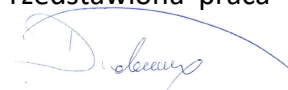
3. Charakterystyka Rozprawy Doktorskiej

Przewód doktorski mgr inż. Pauliny Maślanki jest prowadzony na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów Politechniki Łódzkiej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Maślanki wykonana została w roku 2023r w ramach kształcenia w Interdyscyplinarnej Szkole Doktorskiej PŁ, w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Ryszard Korycki z Katedry Inżynierii Mechanicznej, Informatyki Technicznej i Chemii Materiałów Polimerowych Politechniki Łódzkiej.

Tematyka rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Maślanki dotyczy istotnego i aktualnego problemu modelowania numerycznego oraz wrażliwości charakterystyk aerodynamicznych na kształt i właściwości materiałowych konstrukcji inżynierskich w odniesieniu do paralotni. Przedstawione w pracy zagadnienia są odpowiedzią na potrzeby ciągłego rozwoju nauki jaką jest Inżynieria Materiałowa.

Paralotnia jest statkiem powietrznym (art. 2 ust. 1 ustawy – prawo lotnicze). Zgodnie z przepisami rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 15 lipca 2003 r. w sprawie klasyfikacji statków powietrznych (Dz. U. z dnia 8 sierpnia 2003 r. Nr 139, poz. 1333) paralotnie to sportowe urządzenia latające bez napędu, przeznaczone do startu z nóg pilota, o powierzchniach nośnych pozbawionych elementów zapewniających im sztywność, sterowane za pomocą zwichrzania tych powierzchni. Bezpośrednio w praktyce inżynierskiej paralotnie są definiowane jako urządzenia do szybowania, których skrzydło nie jest wyposażone w elementy sztywne. W aktualnej literaturze przedmiotu definicja ta jest rozszerzona o stwierdzenie, że paralotnia to złożony obiekt inżynierski stanowiący globalny układ składający się z wielu elementów, w którym każdy jest składnikiem złożonym: skrzydła, linki, uprzęż i pilot. Literatura fachowa, naukowa opisuje paralotnie jako zaawansowany, wieloaspektowy obiekt analiz w szerokim zakresie inżynierii materiałowej, aerodynamiki i mechaniki lotu elementów oraz inżynierii mechanicznej, szczególnie wobec możliwości optymalizacji ich parametrów technicznych i technologicznych. W tym świetle konieczne było prowadzenie przez Autorkę systematycznych i pogłębionych analiz procesów i danych uwzględniających czynniki losowości i niepewności związanych z procesami symulacji komputerowej. Wymagania te prowadziły do potrzeby opracowania nowych metod i modeli integrujących różne koncepcje i poziomy opisu rzeczywistości. Przedstawiona praca

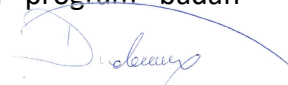


skupia się na modelowaniu numerycznym i wrażliwościach charakterystyk aerodynamicznych na kształt paralotni, a także właściwości materiału pokrycia. Analiza globalnego układu paralotni ma charakter złożony, niemożliwy do opracowania w zakresie wyłącznie inżynierii materiałowej. Interdyscyplinarny poziom realizowanej tematyki koncentrował rozważania Autorki do opisu skrzydła jako podstawy nośnej zespołu konstrukcji inżynierskiej. Wymiary płata zostały zdefiniowane, a założenia konstrukcyjne w oparciu o dostępną literaturę fachową zostały wyraźnie określone przez Doktorantkę, na bazie skrzydła rekreacyjnego o rozmiarze S. W uzupełnieniu dysertacji Autorka dokonała analizy elementów takich jak szwy, linki, uprząż; dzięki takiemu podejściu Doktorantka zasygnalizowała rozwinięcie rzeczonych rozważań przyszłych, samodzielnych badaniach naukowych.

Uwzględniając powyższe uwagi wstępne, podjętą przez Kandydatkę tematykę rozprawy uważam za istotną i oryginalną, zarówno ze względów poznawczych, jak i użytkowych. Pomimo niewielkiej liczby publikacji dotyczących stosowania naukowych metod w modelowaniu numerycznym skupiających się na wrażliwościach charakterystyk aerodynamicznych paralotni i cech materiałowych pokrycia, jednoznacznie mogę stwierdzić lukę teoretyczną, metodyczną i empiryczną w obszarze przedmiotowym badań. Dotyczy ona braku koncepcji, metodyk i modeli pozwalających ująć przedmiotową problematykę w sposób systemowy, uwzględniając przy tym wpływ czynników niepewnych. Moim zdaniem postawiony w pracy problem i sposób jego rozwiązania można postrzegać jako próbę wypełniania luk w tej materii, a także niewielką liczbę publikacji odnoszącej się do podejmowanej problematyki. Reasumując uważam, że postawiony przez Doktorantkę problem badawczy ma wybitnie charakter dysertabilny i w pełni nawiązuje do współczesnych osiągnięć oraz potrzeb nowoczesnej nauki. Rozważana problematyka jest nowa, bardzo aktualna, ma charakter interdyscyplinarny a poruszane zagadnienia mają zasięg nie tylko krajowy, ale również międzynarodowy.

4. Układ rozprawy

Praca liczy 132 strony tekstu merytorycznego. Składają się na Wstęp, Analizę literatury przedmiotu, część badawczą – badania własne zakończone podsumowaniem rozważań Autorki. Struktura pracy jest logiczna i przejrzysta. Autorka bardzo wnikliwie dokonała analizy literatury przedmiotu. W dalszej części pracy Autorka przedstawia pole własnych dociekań empirycznych oraz ich kontekst teoretyczno-metodologiczny w problematyce związanej z modelowaniem numerycznym skupiających się na wrażliwościach charakterystyk aerodynamicznych paralotni i cech materiałowych. W ramach eksperymentu Autorka zrealizowała program badań

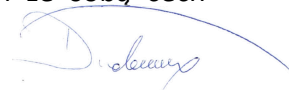


na dziesięciu różnych tkaninach, w tym osiem tkanin stanowił materiał przeznaczony do konstrukcji paralotniowych, dwie stanowiły materiał przeznaczony na spadochrony. Nadmienić należy, że taki wybór był podyktowany rozszerzeniem własnych dociekań o inne materiały służące jako tło badawcze w celach porównawczych pod względem składu materiałowego oraz właściwości ogólnych, strukturalnych i mechanicznych.

Praca ma właściwą strukturę, treść kolejnych rozdziałów jest uzasadniona, zachowane są odpowiednie proporcje między poszczególnymi częściami pracy. Praca spełnia wszystkie wymogi formalne. Jest obszerna, ale unika powtórzeń i zbędnego rozciągania tekstu, wnikliwie i szczegółowo omawiając przedstawiane zagadnienia. Napisana jest poprawnym językiem naukowym, w sposób interesujący dla czytelnika. Zawiera wszystkie potrzebne przypisy objaśniające i poprawne odsyłacze literaturowe, a cytaty są wyraźnie oddzielone od tekstu autorskiego. Poprawnie są też ponumerowane i przedstawione tabele i zestawienia. Wykaz wybranych skrótów i terminów jest obszerny. We wprowadzeniu uzasadniono potrzebę podjęcia badań w celu zastosowania innowacyjnej konstrukcji paralotni. W ramach prowadzonego eksperymentu stosowanego szczególnie w ustalaniu relacji w warunkach laboratoryjnych z kontrolowaniem zmian cech stanu i wielkościami zmiennymi, przedstawiono szczegółowy program badań umożliwiający opracowanie modeli symulacyjnych. Tego typu modelowanie jest najczęściej stosowane dla potrzeb identyfikacji i optymalizacji modelu fizycznego nowego lub modernizowanego obiektu.

Praca zasadniczo podzielona jest na dwie części, gdzie podział ten został wyraźnie uwypuklony na część poświęconą analizie literatury przedmiotu i część aplikacyjną stanowiącą materiał i metody badań, a także bardzo precyzyjnie opracowany plan eksperymentu z wyraźnie wyeksponowanym programem badań.

Kolejnym celem pracy i najistotniejszym, jest realizacja badań podstawowych mających na celu przeprowadzenie oryginalnych prac eksperymentalnych i teoretycznych, podejmowanych przede wszystkim w celu zdobycia nowej wiedzy o podstawowych zjawiskach i obserwowalnych faktach, których wynikiem było powiązanie modułów strukturalnych i parametrów strukturalnych tkanin przeznaczonych na paralotnie. W tym miejscu Autorka bardzo trafnie zaznaczyła, że istnieją nieścisłości w definiowaniu właściwości użytkowych, wymagań klientów co do funkcjonalności i przeznaczenia tego typu tkanin. Z treści jaka została zawarta w pracy należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że Autorka zdefiniowała tego typu materiały jako złożony obiekt inżynierski składający się z wielu połączonych ze sobą cech



użytkowych, właściwości fizycznych i odpornościowych. Już na tym etapie Autorka słusznie zwraca uwagę, że podjęta tematyka jest trudna i złożona. Analiza tematyki jaka została przeprowadzona stanowiła punkt wyjścia do wyznaczenia i określenia wymagań, jakie Autorka wprowadziła do planu eksperymentu uzupełniając o zaproponowane cechy, właściwości i zachodzące zjawiska. Problematyka jakiej podjęła się Autorka jest niezwykle trudna i bardzo złożona. Wyrób tekstylny jakim jest tkanina należy do obiektów niezwykle złożonych, w przypadku splotów podstawowych niezłożonych, czy tkanin pojedynczych, można z pewnością przewidzieć w jaki sposób wytworzona tkanina może zachować się w określonych warunkach. Materiałem badań były tkaniny wykonane z przędz multifilamentowych charakteryzujących się splotem typu rip-stop. Tkaninę tego typu można łatwo rozpoznać, ze względu na wypukłą kratkę. Zapobiega ona rozdieraniu się materiału. W tego typu materiałach pojawia się problem „wyboru mniejszego zła”, a także niewątpliwie spór pomiędzy projektantem tkanin; mowa o rodzaju splotu, fakturze, efektach barwnych, z połączeniem trudnej do zidentyfikowania na etapie projektu problematyki związanej z określonymi właściwościami dedykowanymi na wyroby specjalne. Analizę literatury przedmiotu Doktorantka kończy podsumowaniem, gdzie uzasadnia podjęcie tematyki związanej z cechami użytkowymi tkanin na wyroby specjalne i wykorzystaniem tkanin o określonych właściwościach mechanicznych, mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkowania w trakcie lotu na paralotni.

Z punktu widzenia rozważań eksperymentalnych Autorka określiła cel badań doświadczalnych, spełniających założenia planu zdeterminowanego, który to najlepiej nadaje się do identyfikacji modelu obiektu badań, gdyż układy tego planu determinują ustalone założenia teoretyczne. Uważam, że przedstawiony program badań jest bardzo dobrze opracowany, niewątpliwie posiada cechy naukowości.

W przedstawionych wnioskach Autorka zawarła wszystkie uwagi jakie podniosła w dysertacji, a także odniosła się do konstruktywnej krytyki charakteryzującej się dojrzałym podejściem do zagadnień, tym samym sugerując sposób lub sposoby rozwiązania problemu poddanego naukowej dyskusji. Można ten rodzaj krytyki naukowej zaliczyć do krytyki wyższego poziomu w przeciwieństwie do zwykłej krytyki pozbawionej tej cechy.

Połączenie założeń projektowych, technologicznych i funkcjonalnych powoduje, że rzeczy oczywiste stają się wyzwaniem trudnym, czemu Doktoranta w pełni sprostano. Uważam, że cele pracy zostały sformułowane jasno, są ścisłe i konkretne oraz poddają



się operacjonizacji. Wyrażam również pogląd, że hipoteza pracy w przytoczonym powyżej brzmieniu została określona prawidłowo.

5. Analiza zakresu, celu i charakterystyka treści pracy

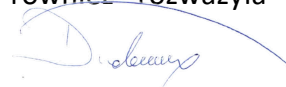
W pracy Autorka przeprowadziła badania dziesięciu różnych tkanin pokrycia skrzydła paralotni w celu:

- określenia ich parametrów technologicznych,
- analizy charakterystyk i typów korelacji z wykorzystaniem spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR),
- identyfikacji charakterystyk konstrukcyjnych tkanin z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM),
- określenia wpływu starzenia UV,
- ciepłego i zmęczeniowego na charakterystyki mechaniczne oraz przepuszczalność materiału przy różnych wartościach ciśnienia.

Wyznaczone zmienne umożliwiły opracowanie symulacji numerycznych, których celem było określenie wpływu przepuszczalności materiału pokrycia na charakterystyki aerodynamiczne konstrukcji inżynierskiej, jakim było skrzydło paralotni. W tym celu Autorka wykorzystwała środowisko oprogramowania CFD, bazujące na równaniach Naviera-Stockesa, jak i metody objętości skończonych.

Uzyskane w ramach eksperymentu rozkłady ciśnienia wynikające z procedury obliczeniowej CFD oraz wyników badań laboratoryjnych tkanin pokrycia skrzydła, umożliwiły przeprowadzenie złożonych obliczeń strukturalnych w programie ANSYS Structural. Odształcenia otrzymane w wyniku analiz strukturalnych Autorka wyeksportowała do środowiska CFD. Zastosowanie autorskiej procedury numerycznej w określonym etapie pozwoliło wyznaczyć wrażliwość charakterystyk aerodynamicznych na oba powyższe czynniki (tj. przepuszczalność materiału oraz jego właściwości mechaniczne).

Paralotnie z pojedynczym materiałem pokrycia pozwalają znacznie zaoszczędzić masę i objętość skrzydła, czyli jego koszt, przy zachowaniu zbliżonych własności nośnych. Dlatego Doktorantka przeprowadziła w dalszej części dysertacji analizę właściwości nośnych paralotni odnoszących się do rozkładu ciśnienia uzyskanego w obliczeniach CFD. W uzupełnieniu Autorka skupiła swoje rozważania do innych elementów stanowiących część konstrukcyjną paralotnię w tym szwy, łączące poszczególne bryty tkaniny skrzydła. Doktorantka opracowała metodę wyznaczania rzeczywistej siły działającej na szew podczas lotu, jak również rozważyła



kompleksowe zagadnienia dotyczące rozerwania szwów i ich wpływu na materiał, tą część realizacji programu badań w ramach eksperymentu uważam za najbardziej wartościową.

Zostały również określone siły działające w linkach sterujących w punktach ich zaczepienia, co pozwala określić współczynniki bezpieczeństwa.

Ostatnim rozważonym elementem jest transport ciepła w uprząży pilota, który został określony w środowisku MATLAB. Zaproponowane metody badawcze uważam za nowoczesne, wpisujące się w aktualne trendy w nowoczesnej nauce. Na uwagę zasługuje bardzo dobra znajomość Doktorantki skomplikowanych i wysoko zawansowanych technik numerycznych, a także oprogramowania do symulacji komputerowej. Wysoka dbałość o szczegóły, staranność przeprowadzonych symulacji, a co za tym idzie bardzo dobrze opracowanych modeli symulacyjnych złożonych obiektów inżynierskich, potwierdza wysoki poziom wiedzy w tej materii.

6. Ocena merytoryczna

Dokonany przegląd treści rozdziałów pozwala mi stwierdzić, że Autorka podjęła się trudnego zadania badawczego i wykonała je w stopniu bardzo dobrym. Prezentacja wyników prac badawczych świadczy także o bardzo dobrej znajomości realiów praktycznych przez Autorkę rozprawy. Należy podkreślić, że Doktorantka wykonała żmudną pracę gromadzenia i przygotowania danych.

Realizację sformułowanych celów pracy oraz weryfikację postawionej tezy Autorka oparła na podejściu badawczym składającym się z faz:

- analitycznej — bazującej na metodzie analizy i studiowania literatury przedmiotu wykorzystanej dla potrzeb wyjaśnienia podstawowych pojęć związanych z tematyką rozprawy oraz zaprezentowania metodycznych aspektów modelowania i symulacji,
- diagnostyczno-projekcyjnej opartej na własnych badaniach empirycznych i podejściu indukcyjno-dedukcyjnym, która zaowocowała identyfikacją kluczowych parametrów zmiennych wejściowych, a przede wszystkim opracowaniem modeli symulacyjnych wzbogaconych wynikami eksperymentów symulacyjnych.

Autorka Rozprawy Doktorskiej podjęła temat istotny z punktu widzenia czysto poznawczego jak i użytecznego. Z uwagi na nieliczne doniesienia literaturowe z podjętej tematyki podjęcie się tego zagadnienia jest ważne i celowe.

- Układ rozprawy jest prawidłowy.

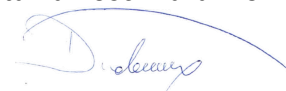


- Praca mieści się w obszarze prowadzonych w badań nad nowoczesnym ujęciem opisu nowoczesnych konstrukcji inżynierskich. Badania prowadzone w ramach dysertacji można zaliczyć do grupy badań innowacyjnych i co więcej: mających bezpośrednie zastosowanie w praktyce, przy równoczesnym bardzo wysokim poziomie teoretycznym tych badań.
- Doktorantka w wielu przypadkach prowadzi ciekawe dyskusje oraz wyciąga krytyczne wnioski. Dogłębna jest też krytyczna analiza otrzymanych w literaturze wyników oraz ocen przydatności poszczególnych metod i urządzeń. Świadczy ona o bardzo dobrej znajomości literatury przedmiotu.
- Doktorantka wykazała się bardzo dobrym rozeznaniem w literaturze przedmiotu oraz wiedzy praktycznej. Jej analizy są dogłębne.
- Autorka bardzo dobrze orientuje się w poruszonym zagadnieniu i wyraża się językiem dojrzałego naukowca.

Oceniając podejście badawcze stwierdzam, że Doktorantka posłużyła się bardzo dobrze dobranymi i właściwymi do podjętej problematyki narzędziami badawczymi. Doktorantka opublikowała swoje rozważania w renomowanych czasopismach znajdujących się na Liście Filadelfijskiej.

7. Spostrzeżenia i uwagi krytyczne

- Jaki był powód zaproponowania w planie eksperymentu materiału badań przeznaczonego na spadochrony. Spadochrony i parolotnie mają odmienne zasady działania i obciążenia, inne są ich modele fizyczne i matematyczne, w konsekwencji inne są właściwości i zachowanie się tkanin pokrycia skrzydła parolotni i czaszy spadochronu przy użytkowaniu.
- W dyskusji nad modelami i wynikami oraz w podsumowaniu dysertacji Autorka bardzo ogólnie przedstawiła ograniczenia proponowanej metodyki i modeli oraz nie wskazała potencjalnych dalszych prac dotyczących problemu badawczego. W przypadku tej uwagi proszę o stosowny komentarz Autora rozprawy. Jest to szczególnie ciekawe wobec wyraźnie zarysowanych w dysertacji dalszych możliwości analizy skrzydła i innych elementów parolotni, samodzielnego formułowania kolejnych problemów naukowych sprzężonych z tym zagadnieniem, jak i powstawania kolejnych publikacji już po obronie.
- Czy podczas realizacji programu badań Autorka poddała analizie potrzebę uwzględnienia w opracowanych modelach zakłóceń i ewentualnej oceny ich wpływu na rozpatrywane zmienne. Ma to znaczenie z uwagi na często występującą małą powtarzalność warunków



aerodynamicznych na znacznej rozpiętości skrzydła paralotni. Czy Autorka ma świadomość możliwości zastosowania modelowania o innym charakterze do rozwiązania tego problemu?

- Proces doboru danych wejściowych do modelu symulacyjnego stanowi w praktyce duże wyzwanie. Proszę o przedstawienie danych wejściowych i wyjściowych w zastosowanym modelu. Chciałbym też zapytać czy sprawdzano w jakiś formalny sposób jakość danych wejściowych, a jeżeli tak, to jak to zrealizowano.

8. Wniosek końcowy

Autorka zidentyfikowała lukę poznawczą, a na podstawie analizy literatury stwierdziła brak wystarczającej liczby publikacji w tym obszarze.

Autorka poprawnie zdefiniowała przedmiot badań, prawidłowo przedstawiła plan badań i wyniki swoich dociekań, we właściwy sposób zrealizowała wszystkie etapy procesu badawczego, w tym wnioskowania, wykazała się bardzo dobrym rozeznaniem w dziedzinie wiedzy i bardzo dobrym przygotowaniem w oparciu analizę literatury przedmiotu. Rozwiązania, które Doktorantka zaproponowała mają bardzo praktyczne zastosowanie.

Zrealizowane zadanie badawcze świadczy o tym, że Autorka potrafi zdefiniować ciekawy problem badawczy, opracować plan eksperymentu, przeprowadzić badania oraz wyciągnąć wnioski. Dodatkowym walorem opracowania są wnioski o wybitnie utylitarnym charakterze.

Bardzo pozytywnie oceniam Rozprawę Doktorską w aspekcie metodologicznym i merytorycznym co stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Biorąc pod uwagę merytoryczne i formalne aspekty rozwiązania tematu podjętego w pracy stwierdzam jednoznacznie, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Pauliny Maślanki pt.: „Numerical modeling and sensitivity of aerodynamic characteristics to shape and material properties of paraglider” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stawiane dysertacjom doktorskim.

Konkludując, stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji - jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Maślanki na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



WNIOSEK O WYRÓŻNIENIE

Niniejszym proponuję i tym samym zwracam się do Wysokiej Rady do Spraw Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa by przyznać Autorce dysertacji wyróżnienie za niniejszą rozprawę.

Uzasadnienie:

- Autorka wykorzystała metody symulacji komputerowej o bardzo złożonym i kompleksowym charakterze. Określenie rozkładu ciśnienia w skrzydle paralotni wymagało znajomości zasad numerycznej mechaniki płynów (Computer Fluid Dynamics), która wykorzystuje metodę objętości skończonych oraz nieortogonalne i niejednorodne siatki obliczeniowe. Problem ten został rozwiązany w solverze programu ANSYS Fluent. Z kolei naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia zostały określone w trójwymiarowym modelu skrzydła za pomocą programu ANSYS Structural, bazującego na metodzie elementów skończonych. Każdy z tych programów wymaga biegłości i znacznych umiejętności przy odwzorowaniu skrzydła paralotni o złożonym kształcie (model geometryczny), określeniu modelu obciążeń (model dynamiczny), wprowadzeniu danych, określeniu warunków brzegowych i początkowych (model obliczeniowy), wreszcie uzyskaniu wyników i ich wizualizacji (solver i programy graficzne).

- Przeprowadzono bardzo przejrzysty wywód ukazujący przydatność proponowanych przez Autorkę metod. Praca jest złożona, zawiera zarówno symulacje numeryczne, jak i badania laboratoryjne. Jednocześnie jest komplementarna, ma charakter całościowej analizy problemu paralotni, choć z uzasadnionych powodów ograniczony głównie do skrzydła. Mimo złożoności problemu i wieloaspektowej analizy objętość nie jest znaczna jak na pracę interdyscyplinarną, co świadczy o syntetycznej narracji. Autorka potrafiła samodzielnie wybrać kluczowe elementy wieloaspektowej analizy, zachowując przy tym przejrzystość i tok narracji.

- Praca świadczy o wyrażnie ponadprzeciętnym, dużym wkładzie własnym włożonym w realizację procesu badawczego, wykraczającym poza zakres badań typowej Rozprawy Doktorskiej. Autorka dokonała symulacji numerycznych z wykorzystaniem dwóch różnych aplikacji programu ANSYS (tj. Fluent i Structural). Jednocześnie przeprowadziła złożone i wieloaspektowe badania laboratoryjne wykorzystując elektroniczny mikroskop skaningowy (SEM), określiła zmiany koloru materiału, przepuszczalność powietrza, siły rozdierania i wydłużenia podczas rozdierania dla próbek; wszystko w warunkach normalnych oraz przy kondycjonowaniu: ogrzewaniu, chłodzeniu, starzeniu UV oraz wielokrotnemu zginaniu.



- Rozprawa ma wybitnie charakter aplikacyjny o zasięgu krajowym i międzynarodowym o czym świadczą liczne publikacje Autorki z Listy Filadelfijskiej o znaczącym IF i dużej liczbie punktów MEN. Każda z publikacji jest napisana w sposób bardzo przejrzysty. Wszystkie stanowią komplementarną całość, uzupełniają się wzajemnie. Jednocześnie jest widoczny wyraźny rozwój naukowy Autorki między 2019 rokiem (1 publikacja) i 2022/23 rokiem (4 publikacje); zarówno ilościowy, jak i jakościowy. Szczególnie zwraca uwagę zbiór czterech artykułów wydanych w ostatnich dwóch latach i wielostronność zainteresowań naukowych Doktorantki. Według informacji Autorki w czerwcu 2023 ukończyła kolejną publikację, która została przesłana do czasopisma na Liście Filadelfijskiej o wysokim IF, co świadczy o jej wysokim potencjale i inwencji naukowej.

- Paralotnia, a szczególnie jej skrzydło, jest konstrukcją złożoną, której analiza wymaga uwzględnienia wielu dziedzin nauki (głównie inżynierii materiałowej, inżynierii mechanicznej, aerodynamiki). Doktorantka potrafiła w sposób samodzielny stworzyć, zastosować i wykorzystać interdyscyplinarną, komplementarną analizę takiej konstrukcji, wykorzystując synergię różnych dziedzin wiedzy. Daje to możliwość wieloaspektowej i wielokierunkowej analizy problemu, wcale nie ograniczonej do przedstawionej dysertacji. Jak wynika z przedstawionych wyników, komentarzy w pracy oraz powstania kolejnej publikacji, Autorka dostrzega istniejący dalej szeroki zakres niewykorzystanych możliwości działania naukowego, zarówno w odniesieniu do skrzydła, jak innych elementów paralotni. Świadczy to wyjątkowo pozytywnie zarówno o samodzielności naukowej, jak i umiejętności stawiania, walidacji i wykorzystania kolejnych problemów naukowych.

