

dr hab. inż. Ireneusz Wróbel, prof. UBB

Bielsko-Biała, 17.01.2025

Katedra Podstaw Budowy Maszyn

Wydział Budowy Maszyn i Informatyki

Uniwersytet Bielsko-Bialski

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ramesha Kumpati

**Optimization method for ultralight aerial composite structures****promotor pracy: dr hab. inż. Wojciech Skarka, prof. PŚ**

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Prof. PŚ Alicji Piaseckiej-Belkhayat z dnia 23-10-2024

**1. Wprowadzenie, formalna prezentacja rozprawy**

Rozprawa doktorska została napisana na 173 stronach maszynopisu formatu A4, składa się z ośmiu rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków i tabel, wykazu skrótów i oznaczeń. Tematyka pracy dotyczy konstrukcji bezzałogowych statków powietrznych a w szczególności tematyki opracowania laminowanych konstrukcji kompozytowych uwzględniających różne kryteria projektowe dla każdej warstwy kompozytu. Tradycyjne metody projektowania, często bazujące na podejściach heurystycznych, nie zawsze prowadzą do optymalnych rozwiązań. W ramach pracy doktorskiej zaproponowano zaawansowane metody analizy i projektowania, które umożliwiają zautomatyzowanie i optymalizację procesu, jednocześnie zapewniając jego ciągłe doskonalenie w celu skutecznego spełniania wymagań operacyjnych.

Podczas realizacji pracy wykorzystano metody optymalizacyjne oparte na klasycznej teorii laminatów do wyznaczenia najbardziej efektywnej sekwencji układania warstw. Pozwoliło to na uzyskanie lepszych parametrów wydajności konstrukcji przy jednoczesnym znacznym zmniejszeniu jej masy. Taka redukcja wagi

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 17.01.2025  
RDJMe/101/511/2025.  
nr ..... zał. ....



odgrywa kluczową rolę w poprawie wytrzymałości bezzałogowych statków powietrznych oraz obniżeniu zużycia paliwa, ponieważ lżejsze struktury wymagają mniejszej ilości energii podczas lotu.

Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do zagadnień naukowych poruszanych w rozprawie doktorskiej, prezentuje aktualny stan wiedzy w tej dziedzinie oraz omawia publikacje autora, które posłużyły jako podstawa do opracowania dysertacji.

Rozdział drugi poświęcony jest przeglądowi literatury, omówieniu aktualnego stanu wiedzy związanego z tematyką pracy doktorskiej. Zawiera opis podstaw analizy wyboczenia, przegląd literatury dotyczącej biokompozytów oraz klasycznej teorii laminatów.

Rozdział trzeci skupia się na metodologii optymalizacji konstrukcji kompozytowych, będącej kluczowym elementem rozprawy. Przedstawiono szczegółowo metody i procedury optymalizacji zastosowane podczas realizacji pracy.

Rozdział czwarty koncentruje się na analizie dwóch przypadków kompozytowych łączników typu T oraz optymalizacji ich rdzenia warstwowego.

W rozdziale piątym zaprezentowano studium przypadku, w którym opisano projektowanie i analizę poszycia skrzydeł bezzałogowego statku powietrznego BS17. W rozdziale porównano różne konfiguracje poszycia skrzydeł. Dodatkowo zaprezentowano podejście homogenizacyjne w celu prognozowania właściwości mechanicznych kompozytów.

Treścią rozdziału szóstego jest proces wytwarzania oraz walidacji biokompozytów w różnych układach warstwowych. Eksperymentalna walidacja została przeprowadzona w warunkach laboratoryjnych. Uzyskane wyniki badań mogą znaleźć zastosowanie w konstrukcji bezzałogowych statków powietrznych.

Treścią rozdziału siódmego są wyniki analiz uzyskane podczas realizacji pracy doktorskiej, obejmujące: rezultaty optymalizacji połączeń teowych, optymalizacji rdzenia kompozytowej struktury warstwowej, strategię optymalizacji poszycia skrzydła BS17 UAV, analizę wyboczenia, orientację włókien, sekwencję układania warstw oraz optymalizację strukturalną przeprowadzoną z wykorzystaniem algorytmów genetycznych.





Rozdział ósmy przedstawia wnioski końcowe oraz propozycje przyszłych działań badawczych. Zaproponowane kierunki rozwoju mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle lotniczym i kosmicznym.

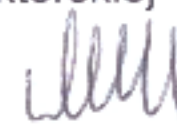
## **2. Ocena merytoryczna pracy**

Praca doktorska Pana mgr inż. Ramesha Kumpati dotyczy optymalnego projektowania struktur kompozytowych w zastosowaniach lotniczych, w szczególności w konstrukcji bezzałogowych statków powietrznych. Tematyka ta jest bardzo istotna i aktualna, ponieważ:

- pozwala na redukcję masy konstrukcji, co bezpośrednio prowadzi do mniejszego zużycia paliwa i zmniejszenia kosztów operacyjnych oraz odpowiada za mniejszy wpływ na środowisko naturalne,
- poprawia osiągi statków powietrznych takich, jak: prędkość, zasięg oraz ładowność,
- zwiększa wytrzymałość i niezawodność konstrukcji dzięki zwiększeniu jej parametrów mechanicznych,
- pozwala na opracowanie adaptacyjnych struktur konstrukcyjnych o zmiennych parametrach mechanicznych.

Celem pracy była optymalizacja konstrukcji kompozytowych w aspekcie zwiększenia nośności i stateczności, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w budowie bezzałogowych statków powietrznych. Badania skupiły się na opracowaniu metodologii budowy zadania optymalizacyjnego, które pozwala na maksymalne wykorzystanie efektywności naturalnych materiałów kompozytowych, przy jednoczesnym ograniczeniu masy konstrukcji.

Teza pracy doktorskiej została zdefiniowana jako opracowanie innowacyjnego podejścia optymalizacyjnego dla naturalnych konstrukcji kompozytowych, które poprawią parametry wytrzymałościowe i zmniejszą masę dzięki czemu będą się nadawać do zastosowań w konstrukcji bezzałogowych statków powietrznych. Uważam, że definicja tezy pracy doktorskiej jest mało precyzyjna i niejasna. Powinna wprost określać istotę prowadzonych badań, wskazywać zagadnienia poddawane weryfikacji oraz przedstawiać wnioski, które mają zostać potwierdzone. Należało rozważyć postawienie odpowiednich pytań badawczych, a w pracy doktorskiej zamieścić odpowiedzi na te pytania.



3

Do głównych osiągnięć i zalet pracy doktorskiej zaliczyć można:

- trafny dobór tematyki badań, która jest bezpośrednią realizacją zapotrzebowania firm produkujących bezzałogowe statki powietrzne,
- potwierdzono przydatność opracowanej metodologii optymalizacyjnej do wyznaczenia ultralekkiej struktury na potrzeby konstrukcji lekkich form samolotów bezzałogowych,
- multidyscyplinarne podejście do rozpatrywanego problemu uwzględniając wiedzę z dziedziny inżynierii mechanicznej i inżynierii materiałowej,
- opracowanie metodologii optymalizacji struktury kompozytów, która uwzględniała formę konfiguracji warstw, kolejność układania warstw oraz grubość powstałego kompozytu,
- opracowano metodologię projektowania i analizy konstrukcji warstwowych ze specjalnie ukształtowanym rdzeniem,
- przeanalizowano 4 rodzaje połączeń teowych wykonanych z kompozytów jako najbardziej typowego przypadku konstrukcji płatowca,
- wykonano próbki laminatów kompozytowych i struktur warstwowych w celu wyznaczenia i oceny ich parametrów mechanicznych z różnych typów żywic i materiałów wzmocnienia; wykonano odpowiednie próby rozciągania, ściskania i trójpunktowego zginania badanych próbek; zaprezentowano i porównano uzyskane wyniki,
- wykonano optymalizację struktur warstwowych, zmieniając odpowiednie parametry konstrukcyjne struktury warstwowej; dodatkowo badano różne konfiguracje geometryczne samego rdzenia struktury warstwowej w analizie MES trójpunktowego zginania, oceniając naprężenia i odkształcenia modeli.

### 3. Uwagi redakcyjne

Pod względem redakcyjnym praca została przygotowana z należytą starannością. Niemniej jednak, w treści rozdziałów można dostrzec drobne uchybienia edycyjne, które nie wpływają znacząco na merytoryczną wartość rozprawy doktorskiej. Można wskazać kilka rysunków z nieczytelnymi opisami to jest: rys. 10, 15, 19, 20, 46, 47, 48, 55, 56, 57, 58, 59, 60. W tekście zauważono również błędne odwołania do rysunków:






- na stronie 134 znajduje się odwołanie do rysunku 3, a powinno być odwołanie do rysunku 73,

- na stronie 135 znajduje się odwołanie do rysunku 73 jako do wyników deformacji, a wskazany rysunek przedstawia zupełnie coś innego.

#### 4. Uwagi krytyczne

Treść i zawartość merytoryczna pracy doktorskiej skłaniają do postawienia kilku pytań oraz sformułowania uwag o charakterze dyskusyjnym:

1. Tematyka pracy doktorskiej dotyczy opracowania laminowanych konstrukcji kompozytowych uwzględniających różne kryteria projektowe dla każdej warstwy kompozytu. Zaproponowano zaawansowane metody analizy i projektowania, które bazują na klasycznej teorii laminatów. Klasyczna teoria laminatów mimo bardzo szerokiej użyteczności posiada istotne ograniczenia i wady, które sprawiają, że w niektórych przypadkach jej zastosowanie może być niewystarczające. Czy w ramach realizacji pracy doktorskiej analizowano ograniczenia i wady tej teorii? Czy zastosowanie innych bardziej zaawansowanych teorii nie byłoby bardziej przydatne podczas realizacji pracy doktorskiej? Czy uwzględniono zjawisko delaminacji?
2. W pracy zaprezentowano szereg modeli obliczeniowych MES przygotowanych do przeprowadzenia różnych testów statyczno-wytrzymałościowych. Nie opisano jednak szczegółowo warunków brzegowych tj. sposobu podparcia i obciążenia modelu.
3. Warunki oraz przyjęte założenia dotyczące zadań optymalizacyjnych zrealizowanych w rozprawie doktorskiej nie zostały opisane w wystarczająco jasny i czytelny sposób, co utrudnia zrozumienie uzyskanych wyników.
4. Podczas ręcznego wykonywania próbek z kompozytów może powstać ich niejednorodna struktura wynikająca z braku powtarzalności parametrów procesu, różnic w precyzji nakładania warstw, stopnia nasycenia żywicą oraz braku systemu kontroli jakości. Tak wyprodukowane kompozyty mogą wykazywać zmienność właściwości mechanicznych. Czy w ramach



prowadzonych badań zostały podjęte jakiegokolwiek działania, aby wyeliminować lub przynajmniej zredukować tę zmienność?

5. Na jakiej podstawie stwierdzono, że kompozyty na bazie włókien naturalnych są bardziej ekologiczne, przyjazne dla środowiska od standardowych rozwiązań? Czy przeanalizowano cały cykl życia produktów wytwarzanych na bazie tych włókien, szczególnie procesy recyklingu tych produktów?

## 5. Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Ramesha Kumpati dotyczy tematyki konstrukcji kompozytowych bezzałogowych statków powietrznych uwzględniających różne kryteria projektowe dla każdej warstwy kompozytu.

Po dokonaniu szczegółowej analizy ocenianej pracy stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska stanowi innowacyjne ujęcie zagadnienia naukowego. Praca ta dowodzi, że kandydat posiada gruntowną wiedzę teoretyczną z zakresu inżynierii mechanicznej oraz wykazuje umiejętność prowadzenia badań naukowych. Doktorant zaprezentował także dobrą orientację w literaturze przedmiotu oraz wykazał się sprawnością w praktycznym wykorzystaniu systemów CAX do rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Recenzowana dysertacja spełnia na dobrym poziomie ustawowe wymagania stawiane pracy doktorskiej w zakresie nauk technicznych. Biorąc pod uwagę wskazane powyżej konkluzje, wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Ramesha Kumpati do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Bielsko-Biała, 17.01.2025