

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Rafała Szymańskiego
**p.t. "Opracowanie metodyki badań nieniszczących właściwej do wykrycia
i oceny porowatości w kompozycie węglowym"**

wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Witolda Wiśniowskiego

Podstawa: *Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna nr RNDIM/II/3/2021 - decyzja RNDNIM z dnia 7 kwietnia 2021 r.*

1. Wprowadzenie

Tematyka rozprawy dotyczy jednego z najważniejszych i najbardziej aktualnych problemów związanych ze stosowaniem w konstrukcji statków powietrznych (SP) różnego rodzaju materiałów kompozytowych. W szczególności diagnozowania elementów konstrukcyjnych SP wykonanych z tych materiałów na etapie jego produkcji i eksploatacji. Ich duża niejednorodność i wielowarstwowość powoduje określone trudności diagnostyczne. Autor podjął się badania jednego z możliwych defektów struktury, którym jest jej porowatość wynikająca z możliwego uwięzienia w osnowie i pomiędzy warstwami zbrojenia pęcherzyków gazu.

Treść pracy nawiązuje w sposób właściwy do jej tytułu, a nazwy rozdziałów przedstawiają spójną i logiczną całość, dając syntetyczny pogląd na rozważaną w nich treść.

2. Omówienie treści rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Rafała Szymańskiego liczy 153 strony. Zawiera spis treści, streszczenie (w języku polskim i angielskim), wykaz ważniejszych oznaczeń, skrótów, pojęć i definicji, wstęp wraz z opisanym celem i tezą pracy, 8 rozdziałów oraz spis literatury.

We wstępie Autor uzasadnia potrzebę prowadzenia prac nad metodami wykrywania defektów w strukturze kompozytów włóknistych powstających już na etapie ich wytwarzania.

Jako cel pracy, Autor podaje opracowanie uniwersalnego algorytmu umożliwiającego zarówno wykrycie, jak i ilościową ocenę porowatości w strukturach kompozytowych. Cel ten ujęto w tezie pracy, poprzez twierdzenie, że możliwym jest uzyskanie wiarygodnej oceny porowatości z wykorzystaniem badań ultradźwiękowych, pod warunkiem jednoczesnego uzyskania wysokiej korelacji z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem techniki tomografii komputerowej.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie w tematykę kompozytów włóknistych w osnowie polimerowej oraz opis metod wytwarzania. W rozdziale zamieszczono również przegląd i opis defektów występujących w strukturach kompozytowych. Wskazano również na przyczyny powstawania porowatości oraz jej wpływu na wytrzymałość struktur kompozytowych.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu i opisu metod wykrywania oraz oceny porowatości wskazując na główne metody mające praktyczne zastosowanie. Opisano podstawy fizyczne związane ze stosowaniem metody ultradźwiękowej wraz z informacjami na temat techniki Phased Array.

Rozdział trzeci i czwarty poświęcone zostały na przedstawienie kolejnych etapów podjętych badań zmierzających do opracowania metodyki wykrywania i oceny porowatości z wykorzystaniem metod ultradźwiękowych. Opisano kolejno badania prowadzone na próbkach wykonanych z preimpregnatów węglowych jedno i dwukierunkowych. Autor szczegółowo przedstawił sposób wytwarzania paneli testowych i kalibracyjnych, ich weryfikację oraz proces ustalania parametrów aparatury badawczej. W rozdziałach tych zebrano i omówiono wyniki badań własnych autora pracy.

W rozdziale piątym zaprezentowano zastosowanie opracowanej metodyki do badań kompozytowych pokryć i dźwigarów demonstratora skrzydła samolotu ILX-34.

Pracę kończą rozdziały zawierające podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych badań oraz lakoniczny, zawierający jedno zdanie, rozdział zatytułowany „*Dalsze kierunki badań*”.

Po części merytorycznej zamieszczono spis literatury, zawierający 140 pozycji, w tym trzy prace autorstwa Doktoranta.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Konieczność spełniania wymagań dotyczących bezpieczeństwa i niezawodności konstrukcji lotniczych wymusza ich nieustanny rozwój obejmujący między innymi stosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych oraz przeprowadzanie ich badań eksperymentalnych. Oprócz badań dowodowych świadczących o spełnieniu wymagań odnośnie wytrzymałości, w przypadku kompozytów szczególnie ważne są zagadnienia badań nieniszczących umożliwiające prowadzenie kontroli jakości pod kątem występowania defektów budowy takich struktur. Wady te powstają już na etapie produkcji poszczególnych elementów struktury, jak również w trakcie ich późniejszej eksploatacji i mają decydujący wpływ na wytrzymałość zarówno doraźną, jak i zmęczeniową.

Jak wspomniano we wstępie recenzji w rozprawie doktorskiej Autor podjął tematykę wykrywania i oceny jednego z typów defektów budowy struktur kompozytowych zwanych porowatością, które objawiają się jako zalegające wewnątrz pęcherzyki gazu. Autor w szczegółach opisał przyczyny powstawania tych wad oraz metody ich wykrywania. W pracy wykorzystano jedną z powszechniej stosowanych, metodę ultradźwiękową. Jednocześnie Autor zaznacza, że metoda ta umożliwia jedynie jakościową ocenę porowatości, a wyniki obarczone są wysoką niepewnością. Z tego też powodu proponowana jest metodyka oparta o porównanie wyników pomiarów z rezultatami badań prowadzonych z wykorzystaniem tomografii komputerowej. Założono, że aby wyniki badań ultradźwiękowych uznać można za wiarygodne muszą cechować się korelacją na poziomie minimum 80% pomiędzy średnią amplitudą echa dna, a porowatością wyznaczoną techniką tomografii komputerowej.

Autor w szczegółach przedstawił kolejne etapy badań zmierzających do określenia możliwości spełnienia powyższych założeń. Badania prowadzono na próbkach kalibracyjnych, które nie wykazywały porowatości oraz na właściwych próbkach testowych. Prace te stanowiły podstawę do wyznaczenia parametrów badań ultradźwiękowych oraz oszacowania błędów pomiarowych. Procedurę badawczą przeprowadzono w zastosowaniu do próbek wykonanych z preimpregnowanych tkanin węglowych jednokierunkowych i dwukierunkowych.

W celu weryfikacji oraz wdrożenia w praktyce opracowanej metodyki przeprowadzono badania elementów kompozytowego kesonu skrzydła. Poprawność

uzyskanych rezultatów weryfikowano metodą tomografii komputerowej oraz mikroskopii cyfrowej. Badaniom poddano dźwigary oraz pokrycia wybranej struktury. Wysoka zbieżność pomiędzy rezultatami dowiodła poprawności założonej tezy pracy i wskazała na użyteczny charakter opracowanej metodyki. Praca zakończona została przedstawieniem trzynastu wniosków, które mają charakter podsumowania badań.

Na podstawie analizy przedstawionej rozprawy doktorskiej stwierdzić można, że Autor dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w **dyscyplinie inżynieria mechaniczna (budowa i eksploatacja maszyn)**. Autor zaproponował nowatorskie wykorzystanie metody ultradźwiękowej do identyfikacji i oceny defektów budowy struktur kompozytowych w postaci zalegających w nich porowatości. Autor przeprowadził szereg badań, które umożliwiły osiągnięcie celu pracy. Jako główne osiągnięcie Autora należy uznać opracowanie wyżej opisanej metodyki badań, która posiada znamiona uniwersalności i może zostać dostosowana do oceny porowatości w różnych materiałach kompozytowych. Pozytywnie ocenić należy również użyteczny charakter opracowanej metodyki, która ma bezpośrednie zastosowanie w praktycznej ocenie defektów budowy elementów konstrukcyjnych wykonanych z materiałów kompozytowych.

Praca jest ilustrowana 99 rysunkami, wykonanymi czytelnie i jednoznacznie oraz logicznie wplecionymi w treść opracowania. Ułatwia to zrozumienie prezentowanych przez Autora rozważań. Treści poszczególnych rozdziałów właściwie wynikają po sobie lecz, zdaniem recenzenta, została zachwiana proporcja pomiędzy prezentowanymi wiadomościami literaturowymi, a częścią zasadniczą pracy, która w zasadzie rozpoczyna się od strony 73.

4. Uwagi krytyczne i spostrzeżenia

Uwagi edycyjne:

- W pracy występuje duża ilość błędów interpunkcyjnych w postaci brakujących przecinków. Błędy te są powszechne, nawet przed spójnikami typu: a, że, ale,...
- W pracy występuje duża liczba błędów składu tekstu: sierotki i bękarty

Uwagi merytoryczne:

- Tytułem pracy jest *opracowanie metodyki badań nieniszczących*, jako cel pracy (str. 24) podawane jest *opracowanie algorytmu badań*, natomiast od rozdziału numer 3 (str. 73) autor używa zwrotu *opracowanie metody badań*. Należy

podkreślić, że zwrotów tych nie można stosować jako synonimów. Autor nie opracował *metody badań*, a *metodykę* wykorzystania już istniejących metod.

Pytanie:

- Aby wyniki badań metodą ultradźwiękową można było uznać za wiarygodne przyjęto, że muszą cechować się korelacją na poziomie minimum 80% pomiędzy średnią amplitudą echa dna, a porowatością wyznaczoną metodą tomografii komputerowej. Jak określono minimalny akceptowalny poziom korelacji wyników badań przy zastosowaniu różnych metod badawczych?

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta problem badawczy został sformułowany poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i głębi prowadzonych rozważań, analiz i badań laboratoryjnych. Z punktu widzenia określonych celów, przyjęta koncepcja badań jest w pełni uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są do niej adekwatne. Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy, jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Na podstawie treści pracy można w sposób jednoznaczny ocenić wkład własny Doktoranta w opracowanie algorytmu badania porowatości struktur kompozytowych metodą ultradźwiękową.

6. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Rafała Szymańskiego pt.: "*Opracowanie metodyki badań nieniszczących właściwej do wykrycia i oceny porowatości w kompozycie węglowym*" spełnia warunki określone w art. 179, ust. 1. Ustawy z dnia 3.07.2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669).

W związku z powyższym, przedstawiam Szanownej Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna wniosek o przyjęcie ww. pracy doktorskiej i o dopuszczenie Pana mgra inż. Rafała Szymańskiego do jej publicznej obrony jako podstawy do nadania stopnia naukowego **doktora nauk technicznych w dyscyplinie „inżynieria mechaniczna¹”**.



¹ Dawniej „budowa i eksploatacja maszyn”

