

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl  
Katedra Robotyki i Mechatroniki  
Akademia Górniczo – Hutnicza  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Kraków 26.06 .2018

**Opinia o pracy doktorskiej pt. “Non- destructive evaluation of composite aircraft elements based on ultrasonic testing and image analysis ” autorstwa Angelika Wronkiewicz.**

**1. Zagadnienie naukowe rozważone w rozprawie**

W pracy doktorskiej autorka podjęła bardzo ważny z punktu widzenia praktycznego problem poprawy efektywności i dokładności ultradźwiękowych nieniszczących metod badania kompozytowych elementów konstrukcji lotniczych. W pracy zawarty jest też, dobrze dobrany i szczegółowo przeanalizowany przegląd literatury dotyczącej zagadnień rozważanych w pracy.

Autorka opisała bardzo szczegółowo podstawowe zagadnienia związane z kompozytami z włóknami długimi stosowanymi w konstrukcjach lotniczych oraz metodykę badań nieniszczących stosowanych do konstrukcji lotniczych. W szczególności opisuje różne strategie projektowania kompozytowych konstrukcji lotniczych pokazując rolę badań NDT w ich wdrażaniu do eksploatacji. Dokonuje przeglądu znanych metod badań ultradźwiękowych pokazując w nich źródła niepewności pomiarowych oraz ich wpływ na stosowalność tych metod. Doktorantka przedstawiła również w bardzo ogólny sposób zagadnienia przetwarzania i analizy obrazów, wyraźnie rozróżniając, na potrzeby pracy, zagadnienia związane z przetwarzaniem (image processing) i analizy (image analysis). Połączenie, wydawałoby by się bardzo odległych; zagadnień mechaniki i degradacji własności kompozytów, badań ultradźwiękowych oraz przetwarzania i analizy sygnałów prowadzi do sformułowania ciekawego interdyscyplinarnego zagadnienia badawczego związanego z poprawieniem

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia ..... 2018 r.

nr ..... zał. ....

dokładności i efektywności badań NDT kompozytowych konstrukcji lotniczych. Zagadnienie to Doktorantka rozwiązała przez automatyzację tych badań w oparciu o procedury przetwarzania i analizy obrazów. Praca ma charakter z jednej strony badań porównawczych, różnych metod nieniszczących badań konstrukcji kompozytowych, z drugiej próbą automatyzacji tych badań w oparciu o przebadane i walidowane przez Autorkę metody analizy obrazów. Praca ma charakter badań stosowanych a jej tematyka wpisuje się w obszar dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn. Praca stanowi dobrze zdefiniowane zadanie badawcze, polegające na wykazaniu, że możliwa jest poprawa efektywności i obiektywności badań NDT kompozytowych konstrukcji lotniczych przy zachowaniu zasad badania tych konstrukcji określonych typowymi znormalizowanymi procedurami. Tak postawione zadanie badawcze Autorka rozwiązała w ramach prezentowanej pracy.

## **2. Cel pracy i teza naukowa**

W rozdziale 3 zatytułowanym „Research problem” Autorka definiuje cel pracy jako (str. 38) opracowanie nowej metody automatyzacji przetwarzania i analizy obrazów z badań ultradźwiękowych w tym obrazowania 3D w celu wykrywania, lokalizacji i wymiarowania uszkodzeń, zdając sobie sprawę z trudności praktycznego wdrożenia opracowanej metody w przemyśle lotniczym, ze względu na wymagania uprawnień od osób przeprowadzających takie badania. W krótkim terminie, moim zdaniem, jest bardzo mała szansa na wprowadzenie tego typu rozwiązań do praktyki badań NDT kompozytowych konstrukcji lotniczych, natomiast w dłuższym horyzoncie czasowym oraz konieczności wdrażania idei przemysłu 4.0, i co jest z tym związane automatyzacji tych badań, prowadzenie badań w tym kierunku uważam za uzasadnione. Cel jest wielowątkowy i składa się z następujących celów cząstkowych; analiza niepewności pomiarowych w badaniach NDE, analiza dokładności wykrywania uszkodzeń za pomocą metody segmentacji obrazów, analiza metod wizualizacji 3D uszkodzeń na bazie wyników badań ultradźwiękowych (badania porównawcze z metodą tomografii komputerowej), próba zastosowania opracowanych metod do praktycznego badania rzeczywistych konstrukcji lotniczych. Definiując powyższe cele Autorka uściśliła kierunki badań reprezentowane w pracy.

Autorka sformułowała w sposób jawny tezę pracy, która brzmi następująco; „Jest możliwa poprawa efektywności i dokładności diagnostyki kompozytowych konstrukcji lotniczych z zastosowaniem badań ultradźwiękowych, poprzez rozwój i zastosowanie metodologii opartej na przetwarzaniu i analizie obrazów.

Cała treść pracy podporządkowana jest realizacji celu oraz udowodnienie postawionej tezy, choć dowód ten jest wykonany tylko poprzez rozwiązanie przykładów w postaci badań modeli laboratoryjnych oraz wybranych komponentów konstrukcji lotniczych.

### **3. Ważność i aktualność zagadnienia naukowego rozpatrywanego w pracy**

Praca dotyczy istotnego, z punktu praktycznej realizacji badań ultradźwiękowych kompozytowych konstrukcji lotniczych. Jest jedną z pionierskich prac na temat zastosowania klasycznych metod przetwarzania i analizy obrazów do interpretacji wyników badań ultradźwiękowych. Jak wynika z literatury oraz moich doświadczeń w tym zakresie, jest to zagadnienie istotne dla rozwoju metod badania kompozytowych komponentów konstrukcji lotniczych. Prowadzi bowiem do zwiększenia obiektywności i efektywności tych badań, co dla struktur lotniczych o stosunkowo dużych rozmiarach jest bardzo istotne.

Bardzo istotne, z punktu widzenia aktualności zagadnienia naukowego, są badania porównawcze, opracowanych metod z metodami najbardziej obiektywnymi, niemniej trudnymi do zastosowania w praktyce, ze względu na duże koszty koniecznej aparatury. Poprzez bardzo precyzyjne opisanie założeń i ograniczeń stosowalności zaproponowanego podejścia czytający ma bardzo jasny i przejrzysty obraz złożoności rozwiązywanych zagadnień. Wśród założeń brak jest, według mnie istotnego elementu to znaczy uwzględnienia w badanych konstrukcjach kompozytowych wpływu wilgoci na uzyskiwane wyniki. Przypadek ten w przypadku badań polowych na obiekcie lotniczym może mieć duże znaczenie praktyczne

### **4. Naukowość i oryginalność pracy**

Zaproponowana przez Autorkę metodologia badawcza zawiera elementy procesu badawczego. Jest w niej proces krytycznej analizy metod badania konstrukcji kompozytowych za pomocą ultradźwięków, eksperymentalne badanie przygotowanych próbek w warunkach laboratoryjnych, badania porównawcze wyników uzyskanych różnymi metodami oraz sformułowanie nowych metod wizualizacji i oceny wyników obrazowania uszkodzeń w strukturach kompozytowych. Z punktu widzenia naukowości prace można ocenić jako próbę zastosowania znanych w innej dziedzinie badań, narzędzi analizy obrazów, do rozwiązania zdefiniowanego problemu badawczego, poprawy efektywności i obiektywności badań ultradźwiękowych. Tematyka automatyzacji badań ultradźwiękowych

w przemyśle lotniczym w zastosowaniu do komponentów kompozytowych jest tematyką stosunkowo młodą i bardzo intensywnie rozwijaną ze względu na jej szerokie praktyczne zastosowania.

Pokazane przez Autorkę w pracy wyniki są oryginalne. Spis literatury jest wyczerpujący i zawiera aktualne pozycje ściśle powiązane z tematyką pracy.

Podsumowując merytoryczną ocenę naukowości i aktualności tematyki rozprawy doktorskiej uważam, że ;

- Opracowanie nowej metody wizualizacji wyników badań ultradźwiękowych oraz jej walidacja na obiektach laboratoryjnych i rzeczywistych konstrukcjach lotniczych,
  - Przeprowadzenie badań porównawczych różnych metod NDE,
  - Przeprowadzenie badań niepewności w pomiarach i ocenie wyników badań ultradźwiękowych,
- stanowią oryginalne elementy zadania naukowego mogącego być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn.

## **5. Mocne i słabe strony pracy**

### Mocne strony pracy:

- Bardzo obszerny i kompletny przegląd literatury zagadnień poruszanych w pracy,
- Bardzo rzetelnie opisane i przeprowadzone eksperymenty na próbkach laboratoryjnych i rzeczywistych konstrukcjach lotniczych,
- Wybór metody segmentacji obrazów i pokazanie efektywności jej zastosowania do analizy wyników badań ultradźwiękowych konstrukcji kompozytowych. Według mnie jest to najbardziej wartościowa część pracy.
- Poprawny wybór przykładów do walidacji opracowanej metody, dobrze ilustrujących jej zalety i możliwości zastosowania w praktyce,
- Przetestowanie możliwości obrazowanie 3D w ocenie wyników badań UT za pomocą C-Scans i B –Scans oraz sformułowanie wniosków otwierających nowe obszary badawcze w tym zakresie,
- Bardzo skrupulatnie przygotowana i wzorowa strona edycyjna pracy,
- Poprawne sformułowanie ciekawych wniosków z przeprowadzonych badań,
- Sformułowanie ciekawego i w pełni uzasadnionego programu dalszych badań.

## Słabe strony pracy:

- Praca w wielu miejscach w szczególności we wstępie ma charakter podręcznikowy i wiele z zamieszczonych opisów jest można by pominąć bez utraty wartości pracy, autorka w sposób bardzo dydaktyczny wprowadza pewne znane pojęcia, zakładając, że czytający nie jest specjalistą w zakresie pracy,
- opisy wielu kwestiach bardzo istotnych z punktu widzenia celu pracy (np. Niepewności pomiarów) są w moim odczuciu zbyt ogólne (np. czujniki),
- W ocenie niepewności omawianych metod badań ultradźwiękowych, zupełnie nie analizuje bardzo istotnego parametru, jakim jest PoD (Probability of Detection). Jest to moim zdaniem podstawowy wskaźnik stanowiący miarę jakości metody wykrywania uszkodzeń, szeroko stosowany i spotykany w literaturze.
- Brak jest w pracy opisu parametrów przeprowadzonych badań statystycznych oraz założeń, które poczyniono przeprowadzając te badania. Nie kwestionuje wyników tych badań, natomiast ze względu na brak opisu nie jestem w stanie zweryfikować ich poprawności,
- Na stronie 102 Autorka podaje, że zauważono dobrą korelację pomiędzy badaniami UT and X-ray CT, nie zauważyłem w pracy badania korelacji, jedynie wizualne porównanie wyników badania tej samej próbki uzyskanymi oboma metodami,
- Na stronie 108 Autorka podaje czas analiz wyników badań UT C – Scan jako tylko 10 min, nie podaje czasu realizacji badań. Czy porównując czasy samych badań i analizy ich wyników można dojść do wniosku, że czas analizy ma duże znaczenie w stosunku do czasu badań?

## **6. Aplikacyjność wyników pracy**

Autorka w sposób jasny i precyzyjny pokazała możliwość zastosowania opracowanej metody do badaniach kompozytowych konstrukcji lotniczych. Z punktu widzenia praktycznego istotne są wnioski wskazujące na automatyzację procesu badań ultradźwiękowych, co w szczególności przy produkcji dużych statków powietrznych ma fundamentalne znaczenie i pozwala badać w sposób i szybki i z minimalnym udziałem subiektywnego operatora. Praca ma duże znaczenie praktyczne i otwiera nowe możliwości dla zastosowanie komponentów kompozytowych w krytycznych elementach konstrukcji lotniczych.

## 7. Wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona przez Angelika Wronkiewicz, jej zawartość i forma wskazują na jego wysoką wiedzę merytoryczną w zakresie analizy i opracowania nowych metod badań ultradźwiękowych. Ponadto, sposób realizacji pracy wskazuje na umiejętność posługiwania się narzędziami pracy współczesnego badacza oraz umiejętność formułowania zadań badawczych i ich skutecznego rozwiązywania. Wszystkie wymienione wyżej zagadnienia rozważane w pracy można zaliczyć do dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Podsumowując, uważam, że Autorka w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułowała, opisała i rozwiązała oryginalne zadanie naukowe, jakim jest analiza procesu wykrywania uszkodzeń w kompozytowych konstrukcjach lotniczych metodami ultradźwiękowymi.

Praca odpowiada warunkom stawianym, w Ustawie o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych, rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych. Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie przedłożonej, przez Angelika Wronkiewicz, rozprawy do publicznej obrony.

