



Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego  
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa



## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

*Analiza możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych  
połączeń hybrydowych stosowanych w lotnictwie*

Autor: płk mgr inż. Jarosław GAŚSIOR

Promotor: dr hab. inż. Marek ROŚKOWICZ, prof. WAT

Promotor pomocniczy: płk dr inż. Piotr WAŚLICKI

Zainteresowanie konstruktorów połączeniami hybrydowymi, czyli kombinacją co najmniej dwóch rodzajów połączeń wykorzystywanych w jednym węźle konstrukcyjnym, wynika z szeregu jego szczególnych zalet, umożliwiających wykorzystanie w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym. Ideą stosowania połączeń hybrydowych jest uzyskanie efektu synergii po zastosowaniu jednocześnie dwóch rodzajów połączeń w procesie montażu elementów, wykorzystanie zalet połączeń składowych oraz jednoczesne ograniczenie ich wad.

Rozprawa swoim zakresem obejmuje część teoretyczną i doświadczalną, poszerzoną o obliczenia numeryczne. Część teoretyczna oparta jest na przeglądzie literatury dotyczącej problematyki połączeń hybrydowych (klejowo-mechanicznych) w aspekcie poprawy ich właściwości wytrzymałościowych i użytkowych. Część doświadczalna opisuje prowadzone własne badania eksperymentalne i obliczenia numeryczne połączeń hybrydowych.

Aby rozwiązać problem badawczy, jakim jest odpowiedź na pytanie, czy jest możliwa efektywna modyfikacja połączeń hybrydowych (klejowo-mechanicznych) w celu poprawy ich parametrów wytrzymałościowych i użytkowych, osiągnąć założone cele i zweryfikować sformułowaną hipotezę, zrealizowano:

1. Badania eksperymentalne w zakresie statycznym i w zakresie trwałości zmęczeniowej połączeń klejowych i mechanicznych oraz połączeń hybrydowych (klejowo-mechanicznych) przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej MTS-809. Badane próbki hybrydowe poddano modyfikacjom polegającym na zmianie schematu montażu łączników mechanicznych zalecanym dla połączeń mechanicznych.

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano również tworzywa adhezyjne o odmiennych właściwościach wytrzymałościowych, weryfikując wpływ ich parametrów na dystrybucję obciążeń w połączeniu. Do przygotowania próbek połączeń wykorzystano zarówno elementy metalowe jak i elementy kompozytowe na bazie tzw. laminatów węglowych (CFRP<sup>1</sup>).

2. Obliczenia numeryczne (w zakresie nieliniowym) przygotowanego modelu obliczeniowego połączenia hybrydowego na potrzeby wykonania analizy z wykorzystaniem metody elementów skończonych m.in. do przeprowadzenia efektywnej analizy pól naprężeń w spoinie połączenia adhezyjnego, łącznikach mechanicznych i łączonych elementach. W zakresie przygotowania modelu obliczeniowego przeprowadzono testy eksperymentalne w celu zidentyfikowania właściwości łączonych materiałów. Warunki brzegowe obliczeń numerycznych modelu były zgodne z warunkami realizacji badań eksperymentalnych. Do tego celu wykorzystano aplikację Ansys Workbench 19.
3. Analizę otrzymanych wyników, włączając porównanie rezultatów badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych. Oceniano, w jakim zakresie wprowadzane w połączeniu modyfikacje (miejsce montażu łączników mechanicznych, właściwości warstwy klejowej) wpływają na właściwości wytrzymałościowe połączeń hybrydowych.

W dostępnej literaturze zagadnienie poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych przedstawiane jest w znacząco ograniczonym zakresie. Brak jest również dostępnych analiz porównawczych dotyczących właściwości połączeń hybrydowych, w których zmianie poddaje się geometrię montażu łączników mechanicznych w celu osiągnięcia wyższej nośności i trwałości połączeń hybrydowych.

Prezentowane w pracy wyniki badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych modeli połączeń hybrydowych mają wypełnić tę lukę. Dodatkowo, ze względu na stale rosnącą popularność materiałów kompozytowych, w szczególności w lotnictwie (do budowy nowoczesnych statków powietrznych), przeprowadzono badania zmęczeniowe połączeń z wykorzystaniem materiałów kompozytowych. Uzyskane wyniki mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych badań tego rodzaju połączeń.

---

<sup>1</sup> CFRP (carbon fiber reinforced polymer) – kopozyt wzmacniany włóknem węglowym