

KONKURS NA NAJLEPSZE PRACE DYPLMOWE WIMiR

XII Konkurs Na Najlepsze Prace Dyplomowe Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki 2019/2020 – prace inżynierskie



Dawid SIENKO
MiBM



Analiza wytrzymałościowa kompozytowej subramy motocyklowej z zastosowaniem pakietu ANSYS

Strength analysis of a composite motorcycle subframe using the ANSYS package

promotor: dr inż. Krystian Szopa – Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska

Streszczenie: Praca dyplomowa omawia podstawowe wiadomości dotyczące materiałów kompozytowych m.in. rodzaje stosowanych materiałów, technologie wytwarzania oraz niektóre hipotezy wytrzymałościowe dla kompozytów. Celem pracy było zaprojektowanie kompozytowej subramy motocyklowej oraz przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej tego elementu. Projekt składa się z trzech części: część projektowa (dobór materiałów, z których zostanie wykonana subrama, zbudowanie modelu geometrycznego subramy zgodnie z konkretnymi założeniami, przy użyciu oprogramowania SOLIDWORKS 2018), część analityczna (przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej z wykorzystaniem pakietu ANSYS, wykonanie badań eksperymentalnych pozwalających na ocenę wiarygodności wyników uzyskanych w analizie numerycznej) oraz część wykonawcza (wytworzenie rzeczywistego elementu).

Summary: The thesis contains basic information on composite materials, among types of used materials, manufacturing technologies and some stress hypotheses for composites. The aim of the work was to design a composite motorcycle subframe and conduct a strength analysis of this element. The project consists of three parts: the design part (selection of materials from which subframe will be made, construction of the subframe geometric model according to specific assumptions, using SOLIDWORKS 2018 software), the analytical part (carrying out strength analysis using ANSYS package, performance of experimental tests allowing to assess the reliability of the results obtained in the numerical analysis) and the executive part (production of the real element).

Cel i zakres pracy

Celem pracy było zaprojektowanie, analiza wytrzymałościowa oraz wykonanie kompozytowej subramy terenowego motocykla elektrycznego przystosowanego do międzynarodowych zawodów studenckich SmartMoto Challenge.

Zakres pracy obejmuje:

- zbudowanie modelu geometrycznego subramy,
- dobór materiałów dostępnych na polskim rynku, potrzebnych do wykonania elementu,
- przygotowanie modelu strukturalnego w module ACP programu ANSYS,
- przeprowadzenie statycznej analizy wytrzymałościowej, przy użyciu metody elementów skończonych,
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych w celu sprawdzenia wiarygodności wyników uzyskanych w analizie numerycznej,
- zbudowanie subramy metodą laminowania ręcznego z wykorzystaniem worka próżniowego.

Model geometryczny

Model subramy motocyklowej został zaprojektowany przy użyciu oprogramowania SOLIDWORKS 2018. Do najważniejszych założeń konstrukcyjnych należały:

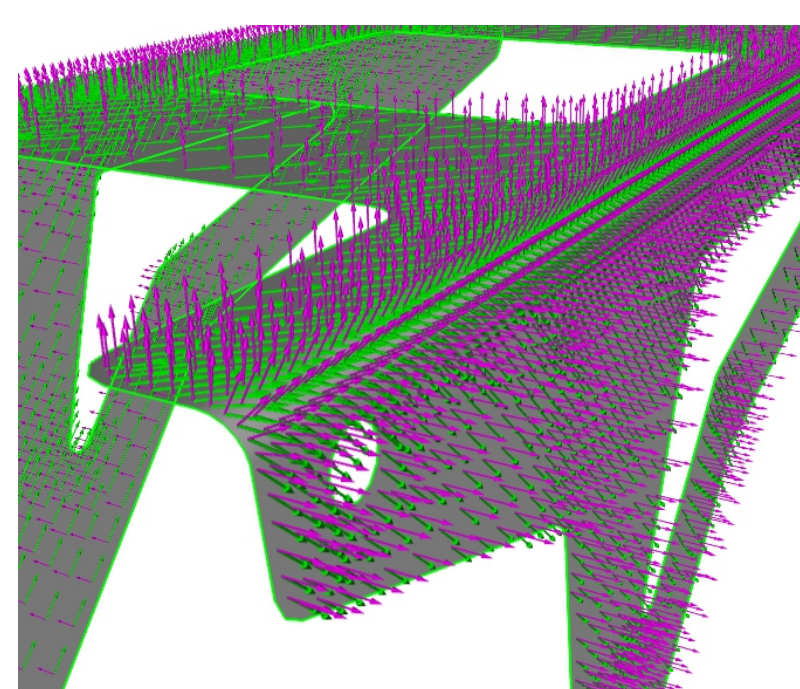
- brak kolizji między subramą a kołem podczas maksymalnego skoku amortyzatora,
- zachowanie rozstawu otworów pod mocowania, takiego samego jak w poprzednim modelu subramy (280 mm),
- szerokość maksymalna subramy równa 248 mm,
- uzyskanie możliwie jak najlżejszej konstrukcji,
- min. współczynnik bezpieczeństwa równy 2,5.



Rys.1. Model geometryczny motocykla

Zaprojektowany model subramy jest kompozytem składającym się z dwunastu warstw włókna węglowego połączonego z żywicą epoksydową oraz aluminiowego rdzenia. Materiały dobrane do budowy subramy to tkanina węglowa z włóknami typu T700S, żywica epoksydowa o podwyższonej wytrzymałości statycznej i dynamicznej oraz stop aluminium PA45 w stanie T6 (6061-T6).

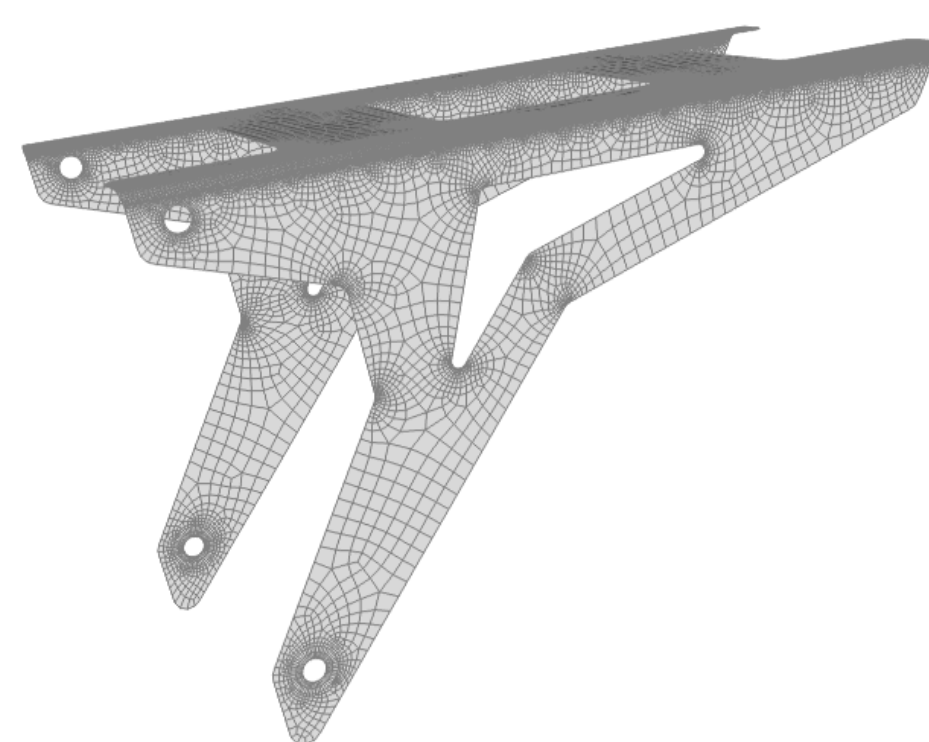
Model strukturalny



Rys.2. Kierunki ułożenia włókien oraz nakładania warstw kompozytowych

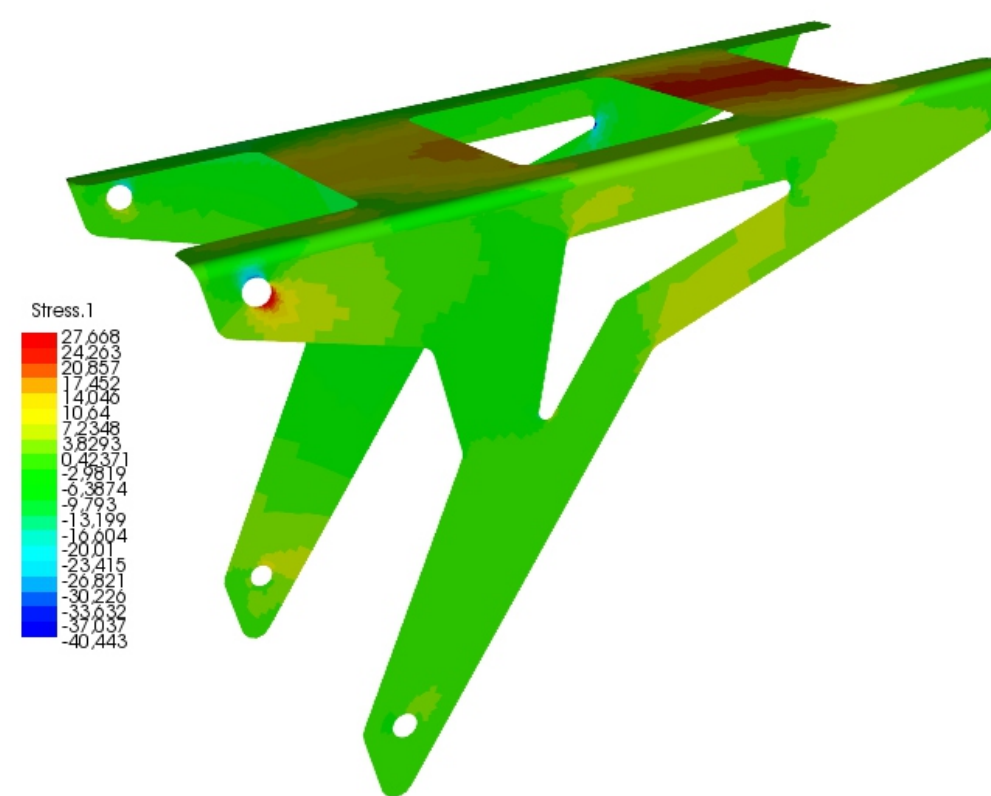
Po zdefiniowaniu i dodaniu do biblioteki programu ANSYS danych materiałowych utworzono model strukturalny subramy. Do prawidłowego odzwierciedlenia struktury kompozytu zastosowano moduł ACP przeznaczony do analiz materiałów anizotropowych. Dla każdej warstwy zdefiniowany został kierunek ułożenia włókien oraz ich położenie względem rdzenia. Przyjęto następującą konfigurację: $[25^\circ, -25^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, R, -45^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 0^\circ, -25^\circ, 25^\circ]$, gdzie R oznacza aluminiowy rdzeń. Oznacza to, że laminat posiada symetrię geometryczną oraz materiałową.

Dyskretyzację obszaru obliczeniowego przeprowadzono na podstawie analizy zbieżności rozwiązania, w której sprawdzono przy jakim rozmiarze elementu maksymalne przemieszczenie subramy osiąga zbieżność. Siatka elementów skończonych została zagęszczona w miejscach, w których przewidywane były największe naprężenia. Liczba elementów wyniosła 30242, natomiast liczba węzłów 30934. Jakość zbudowanej siatki oceniono na podstawie dwóch parametrów: skośności elementu oraz wartości współczynnika kształtu.



Rys.3. Dyskretyzacja obszaru obliczeniowego

Analiza statyczna

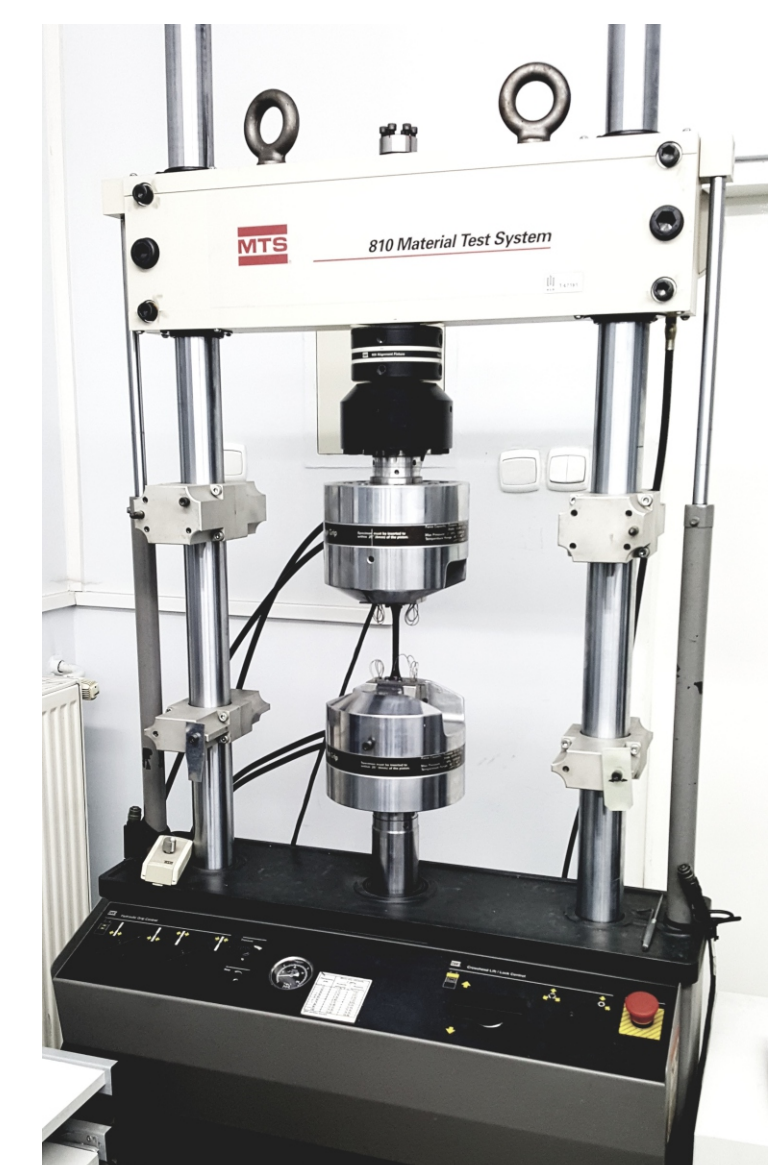


Rys.4. Naprężenia w kierunku równoległym do kierunku ułożenia włókien w pierwszej warstwie

Po zdyskretyzowaniu modelu nałożono warunki brzegowe dla mocowania subramy oraz określono obciążenie wynikające z masy kierowcy. W wyniku przeprowadzonej analizy zbadano naprężenia występujące w poszczególnych warstwach, współczynniki bezpieczeństwa oraz przemieszczenie maksymalne. Najbardziej obciążoną okazała się być warstwa pierwsza, na której odnotowano naprężenie maksymalne równe 40,4 MPa. Minimalny współczynnik bezpieczeństwa wyniósł 2,6, natomiast przemieszczenie maksymalne było równe 0,716 mm.

Badania eksperymentalne

W celu sprawdzenia wiarygodności obliczeń numerycznych przeprowadzono badania eksperymentalne próbek kompozytowych zgodnie z normą PN-EN ISO 527. Próbkę zostały wykonane w takiej samej technologii, jaką przewidziano do budowy subramy oraz z takich samych materiałów. Zbadano 10 próbek oraz obliczono średnią wartość siły zrywającej próbkę.



Rys.5. Próbkę kompozytowa umieszczona na maszynie wytrzymałościowej MTS 810

Warunki badań zostały następnie odwzorowane w środowisku ANSYS oraz sprawdzona została wartość siły, przy której współczynnik bezpieczeństwa próbki wynosi 1. Założono, że jest to siła graniczna, po przekroczeniu której próbka ulegnie zniszczeniu. Porównując wyniki otrzymane podczas badań eksperymentalnych oraz analizy numerycznej obliczono błąd względny, który wyniósł 8,9 %. Taka wartość, może być spowodowana brakiem dokładnych danych materiałowych, nieuwzględnieniem temperatury wygrzewania kompozytu lub stosunkiem zbrojenia do osnowy, który wynika z metody wytwarzania próbek.

Wytworzenie subramy



Rys.6. Rdzeń subramy z nałożoną pierwszą warstwą tkaniny węglowej

Ostatnim etapem pracy było zbudowanie rzeczywistego modelu subramy. Aluminiowy rdzeń przygotowano z arkusza blachy przy użyciu technologii cięcia wodą oraz zagięto jego ramiona pod kątem 90° . Następnie na rdzeń nałożono warstwy włókna węglowego zgodnie z przyjętą konfiguracją kątów ułożenia włókien oraz dokładnie przesączono każdą z warstw żywicą epoksydową. Całość umieszczono w elastycznym worku oraz podłączono do pompy próżniowej aby pozbyć się nadmiaru żywicy. Kompozyt wygrzewano za pomocą specjalnych lamp w temperaturze około $40-50^\circ\text{C}$.

Podsumowanie

W ramach pracy zaprojektowano subramę przeznaczoną do motocykla terenowego. Wykorzystanie materiałów o właściwościach anizotropowych pozwoliło na uzyskanie wysokiego stosunku wytrzymałości do masy własnej. Zaprojektowany model strukturalny przeanalizowano pod kątem wytrzymałościowym, a wiarygodność wyników potwierdzono badaniami eksperymentalnymi próbek kompozytowych. Na podstawie przeprowadzonych badań zbudowano rzeczywisty model subramy, przy użyciu metody laminowania ręcznego z wykorzystaniem worka próżniowego.