



Jacek Błaszczak
MiBM



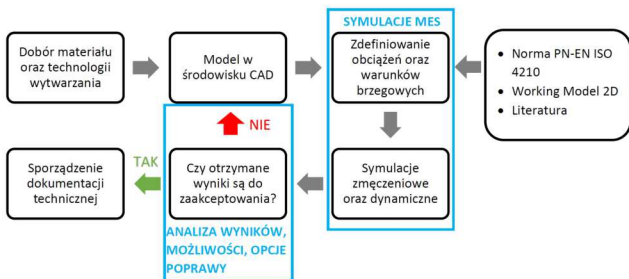
Projektowanie i analiza wytrzymałościowa ramy rowerowej przystosowanej do ekstremalnych zastosowań Designing and strength analysis of a bicycle frame adapted to extreme applications

promotor: **dr hab. inż. Tomasz Machniewicz** – Katedra Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji

Streszczenie: Praca koncentruje się na zagadnieniu projektowania konstrukcji ram rowerowych z uwzględnieniem analizy ich wytrzymałości i trwałości zmęczeniowej prowadzonej przy pomocy metody elementów skończonych (MES). Głównym celem pracy było zaprojektowanie ramy, ocena jej wytrzymałości i przygotowanie jej dokumentacji technicznej. Model geometrii ramy wykonano w programie Autodesk Inventor a jej analizę wytrzymałościową przeprowadzono uwzględniając wartości obciążenia wynikające z obowiązujących norm oraz z wyników symulacji dynamicznych wykonanych z użyciem programu Working Model 2D. W pierwszej części pracy omówiono ogólną budowę współcześnie wytwarzanych ram, stosowane materiały oraz technologie wytwarzania. Następnie przedstawiono dokładnie wymagania, jakim powinny sprostać ramy podczas badań wytrzymałościowych określonych w normach branżowych oraz omówiono kilka najczęstszych usterek występujących podczas eksploatacji ram. W drugiej części pracy wyznaczono siły działające na ramę podczas wykonywania ekstremalnych akrobacji, zaprojektowano geometrię ramy oraz dobrano odpowiedni dla niej materiał. Następnie wykorzystując oprogramowanie Autodesk Simulation Mechanical wykonano szereg analiz wytrzymałościowych symulujących obciążenia, jakie zgodnie z istniejącymi normami powinna przenieść rama rowerowa. Na tej podstawie wprowadzono odpowiednie udoskonalenia zaproponowanej wstępnie konstrukcji. W przypadkach, gdy było to możliwe, wyniki uzyskanych analiz porównano z dostępnymi w literaturze rzeczywistymi wartościami obciążeń, zmierzonymi w trakcie rzeczywistych testów ramy o zbliżonej geometrii.

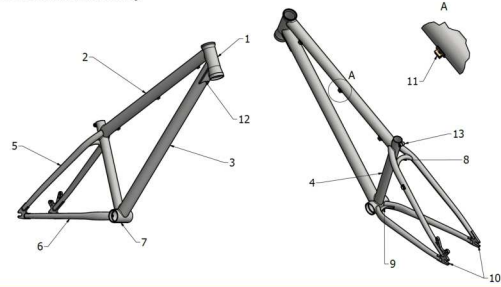
CEL I ZAKRES PRACY

Zaprojektowanie oraz poparte analizą wytrzymałościową udoskonalenie konstrukcji ramy rowerowej mogącej przenieść ponadprzeciętne obciążenia, jakie występują podczas ekstremalnych zastosowań roweru w dyscyplinach takich jak *dirt lub street*.



ELEMENTY RAMY SZTYWNEJ

Rama rowerowa, jako przestrzenny układ konstrukcyjny składający się z zamkniętych profili jest głównym elementem nośnym w rowerach spełniając przy tym funkcje pomocnicze jak np. prowadzenie linki hamulcowej.



1 – głowka, 2 – górna rura przedniego trójkąta, 3 – dolna rura przedniego trójkąta, 4 – rura podsiodłowa, 5 – górne widełki, 6 – dolne widełki, 7 – mufa (suport), 8 – wzmocnienie górnych widełek, 9 – wzmocnienie dolnych widełek, 10 – haki, 11 – mocowanie przewodu hamulcowego, 12 – wzmocnienie dolnej rury przedniego trójkąta, 13 – zintegrowany zacisk podsiodłowy

PREZENTACJA CZĘŚCI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Model do oceny sił działających na rower w oprogramowaniu Working Model 2D

Przebieg wartości sił w czasie działających na mufę oraz mostek kierownicy przy skoku z wysokości 1,5 m

Model do przeprowadzenia symulacji trwałości zmęczeniowej związanej z obciążeniami podczas pedałowania

Rozkład modułu naprężenia głównego σ_1 w okolicach mufy ramy. Teoretyczna trwałość na poziomie 2 mln cykli. Wymagana trwałość wg normy PN-EN ISO 4210-6:2015-10 wynosi 100 tys. cykli

Model oraz najbardziej wyężony punkt (739 MPa), podczas symulacji obciążenia dynamicznego ramy wywołanego uderzeniem swobodnie spadającej masy

Przebieg wartości naprężeń zredukowanych w czasie w najbardziej wyężonym punkcie ramy

Model do analizy naprężeń powstałych w ramie podczas hamowania. W symulacji zmęczeniowej przyjęto tętniący charakter zmiany obciążenia, tj od 0 Nm do 125 Nm

Rozkład naprężeń zredukowanych wg hipotezy Von Misesa przy maksymalnym obciążeniu. Prognozowana trwałość ok. 216 tys. cykli

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zgodnie z założeniami, zaprojektowana została konstrukcja ramy rowerowej mogącej przenieść obciążenia, jakie występują podczas ekstremalnych zastosowań roweru w dyscyplinach takich jak *dirt lub street*. Przeprowadzone rozważania i analizy numeryczne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Ramy rowerów przeznaczonych do uprawiania sportów wyczynowych spełniają maszą, ze względu na duże obciążenia dynamiczne, szczególnie wysokie wymagania wytrzymałościowe przy równoczesnym zachowaniu jak najmniejszej masy. Głównie stopień spełnienia tych dwóch cech determinuje w powszechnym rozumieniu tzw. jakość ramy.
2. Na zasadzie kompromisu jakości i ceny ramy, jednym z najczęściej stosowanych materiałów przy jej produkcji jest stal AISI 4130 QT dająca szerokie możliwości technologiczne w zakresie kształtowania półfabrykatów i ich spajania, a tym samym duże możliwości optymalizacji konstrukcji według kryteriów jej masy i wytrzymałości.
3. Wykorzystując powyższe zalety stali AISI 4130 QT udało się stworzyć z niej konstrukcję ramy o założonych cechach geometrycznych, a następnie udoskonalić ją, redukując jej masę z zachowaniem bezpiecznych poziomów naprężeń w nieważniejszych elementach i węzłach konstrukcyjnych.
4. Opracowany przy użyciu programu Working Model 2D model dynamiczny układu rower – rowerzysta, pozwolił na wyznaczenie działających na rower obciążeń, podczas jednej z najbardziej typowych ewolucji w rowerowych sportach wyczynowych, tj. zeskoku z wysokości, w tym przypadku półtorametrowej. Model ten został pozytywnie zweryfikowany poprzez porównanie wyznaczonych z jego użyciem obciążeń z dostępnymi w literaturze danymi eksperymentalnymi zmierzonymi w trakcie analogicznych skoków wykonanych na rowerze o zbliżonej geometrii.
5. Spośród wykonanych analiz dynamicznych przewidzianych przez normy PN-EN ISO 4210 najbardziej krytyczna okazała się symulacja uderzenia masy 22,5 kg, upuszczanej z wysokości 36 cm, w widełki roweru. Uzyskana podczas tej analizy wartość maksymalnych naprężeń zredukowanych jest bliska, lecz wciąż niższa od granicy plastyczności rozważanego materiału, co pozwala uznać, że warunek nieprzekroczenia określonych przez normę odczłateń trwałych pozostaje spełniony.
6. W wszystkich symulacjach trwałości zmęczeniowej – tj. odnoszących się do obciążeń pochodzących od pedałowania, od poziomej siły działającej na koniec widełka, od siły działającej na siadło, oraz od siły pochodzącej od zacisku hamulca – uzyskane rzeczywiste wartości naprężeń zredukowanych były na tyle małe, że nie wskazują one na możliwość doraźnego zniszczenia konstrukcji. Równocześnie trwałości zmęczeniowej oszacowane na podstawie tych analiz spełniają wszystkie wymagania określone w normach PN-EN ISO 4210.