

Modelowanie konstrukcji ramy motocykla o napędzie elektrycznym

Grzegorz Chomka, Jerzy Chudy

Streszczenie

W artykule, na przykładzie ramy motocykla, przedstawiono wykorzystanie w procesie projektowania systemów CAD/CAE do modelowania części i symulacji występujących w nich naprężeń.

Słowa kluczowe: modelowanie, napęd elektryczny, rama motocykla, systemy CAD/CAE.

Wstęp

W dobie niepewnych źródeł paliw pochodzenia wydobywczego, a także przy dynamicznie zmieniających się cenach paliw płynnych, coraz większą uwagę przykładają do stosowania odnawialnych źródeł energii. Wykorzystanie technologii pojazdów elektrycznych wprowadzanych na rynek stało się już faktem. Wiele firm motoryzacyjnych ma w sprzedaży przynajmniej jeden taki model, a prace wdrożeniowe i testy przechodzą kolejne etapy. Coraz częściej rozważa się także zastosowanie energii elektrycznej do napędu jednośladów. Podstawowym elementem, na który należy zwrócić uwagę jest rama motocykla, w której muszą zostać umieszczone akumulatory i silnik elektryczny. Rama powinna być odpowiednio przygotowana ze względu na ciężar pochodzący od zainstalowanych akumulatorów, a jednocześnie powinna być lekka oraz wytrzymała i sztywna ze względu na obciążenia występujące podczas jazdy.

1. Wprowadzenie teoretyczne

Rama motocykla musi zapewniać sztywne mocowanie między przednim zawieszeniem, główką ramy, tylnym zawieszeniem, tylnym wahaczem oraz umożliwiać mocowanie podzespołów (np.: silnik, przednie i tylne zawieszenie), a także wszystkie pomocnicze oprzyrządowania (np.: zbiornik paliwa, filtr powietrza, światła, itp.).

Ze względów geometrycznych rama pełni wiele funkcji. Należą do nich między innymi zapewnienie odpowiedniego kąta z podłożem za pomocą doboru kąta główki, a tym samym uzyskanie pożądanej sztywności, prawidłowego rozłożenia masy, określenia stałej odległości rozstawu osi i ustawienie w osi koła zębatego silnika wraz z osią wahacza. Struktura ramy jest więc zawsze kompromisem umożliwiającym spełnienie wielu różnych wymagań. W warunkach rzeczywistych każdy rodzaj motocykla ma odpowiednio dobrany typ ramy w zależności od przeznaczenia.

Według autora Gaetano Cocco [1] ramy motocykla można podzielić ze względu na wykorzystanie do jazdy:

- wyczynowej (Trial),
- sportowej (MotoCross, Wyścigi)
- terenowo – szosowej (Enduro),
- w mieście (Streetbikes),
- turystycznej (Turing bikes),

- terenowej (Offroad),
 - powolnej (Custom).
- Ramy motocykla dzieli się również w zależności od montowanej jednostki napędowej:
- z jednym cylindrem,
 - z dwoma cylindrami,
 - w linii,
 - w układzie „V”,
 - w układzie „boxer”,
 - z czterema cylindrami i więcej,
 - napędzie elektrycznym.
- Bardziej odpowiedni podział zaproponował Tony Foale [2], który dzieli ramy motocykla ze względu na ich budowę według kilku kategorii:
- kratownice rurowe,
 - rurowo-kręgosłupowe (pojedyncza, podwójna)
 - gotowe struktury,
 - kadłubowe,
 - silnik wchodzi w skład ramy,
 - konwencjonalne rurowe,
 - twin-spar.
- Ramy o budowie kratownicy rurowej są bardzo popularne wśród włoskich producentów motocykli takich jak: Moto Guzzi lub Ducati (rys. 1).



Rys. 1. Rama kratowo-rurowa Ducati 848 [2]

Konstrukcje tej klasy mają dużą wytrzymałość, a dzięki temu stwarzają możliwość montowania szerokich i skomplikowanych konstrukcji silnikowych. Charakterystyczną cechą ramy kratownicowo-rurowej jest łączenie główki ramy bezpośrednio z wahaczem. Silnik w tej konstrukcji jest ułożony w poziomie lub pod niewielkim kątem natarcia. Ramę wykonuje się z wielu rur, najczęściej aluminiowych lub ze stali nierdzewnej, które spawa się w jedną całość tworząc kratownicę. Dzięki łączeniu ze sobą prostych elementów konstrukcja ramy jest łatwa w produkcji, a co najważniejsze bardzo wytrzymała. Należy unikać budowania ram z długich odcinków rur o małej średnicy, gdyż wówczas powstają wibracje, które są spowodowane przez nierównoważone siły bezwładności silnika w krytycznych częstotliwościach.

2. Modelowanie i analiza wytrzymałościowa ramy motocykla o napędzie elektrycznym

W celu prawidłowego opracowania konstrukcji ramy motocykla o napędzie elektrycznym przyjęto następujące założenia:

- prędkość ciągłej jazdy – 100 [km/h],
- zasięg – 100 [km],
- materiał ramy: stop aluminium AW 6061,
- masa ~ 200 [kg],
- masa kierowcy ~ 100 [kg],
- szerokość: 0,8 [m],
- wysokość: 1,2 [m],
- typ motocykla – miejski.

Przed przystąpieniem do modelowania konstrukcji przeprowadzono obliczenia wstępne. Obejmowały one między innymi: określenie mocy potrzebnej do poruszania pojazdu wraz z doбором silnika elektrycznego i kontrolera, obliczenia i dobór akumulatora, wyznaczenie zasięgu i czasu jazdy motocykla. Wykonano również wstępne obliczenia wytrzymałościowe ramy przedniej i tylnej (wahacz) oraz zastosowanych spoin. Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych obliczeń zbudowano odpowiednie modele zarówno ramy przedniej motocykla o napędzie elektrycznym (rys. 2) jak i wahacza (rys. 3).



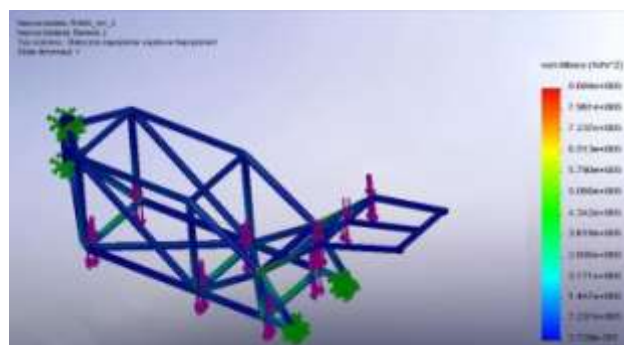
Rys. 2. Model 3D ramy przedniej

Zbudowane modele poddano analizie wytrzymałościowej metodą elementów skończonych przeprowadzonej w dodatku CosmosWorks programu SolidWorks. Wszystkie dane umocowań, sił oraz nacisków występujących podczas użytkowania motocykla zamodelowano w programie (rys. 4). Odpowiednio dobrano również materiał na ramę tak aby był zgodny z przyjętym w założeniach projektowych. Analiza

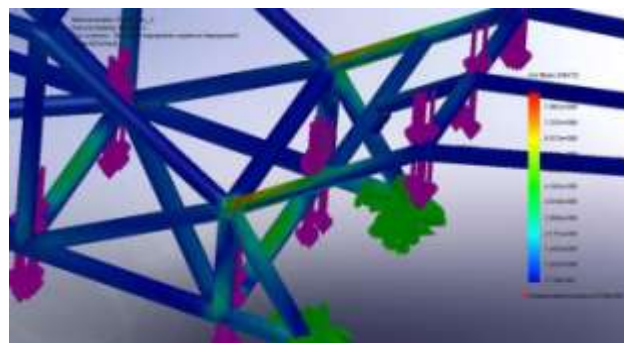
wyników pozwala stwierdzić, że żaden z elementów nie ulegnie uszkodzeniu na skutek zbyt dużych naprężeń. Wyniki otrzymane z programu SolidWorks pokrywają się z wartościami naprężeń określonymi metodą analityczną. Największa wartość naprężeń (rys. 5) występuje w dolnych łącznikach ramy (około 7 MPa) oraz w węźle środkowym tylnym (około 9 MPa) wypuszczonym na osadzenie siedzenia kierowcy.



Rys. 3. Model 3D wahacza

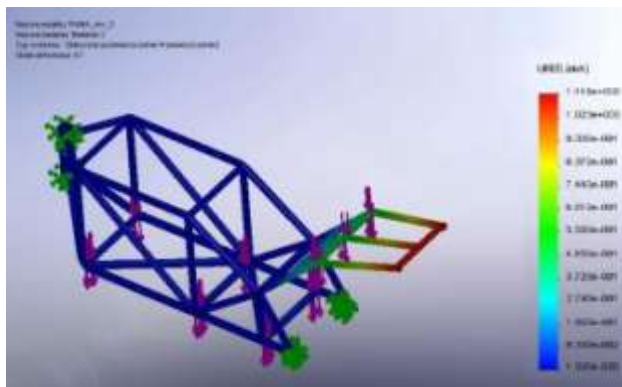


Rys. 4. Rozkład naprężeń zredukowanych w ramie górnej



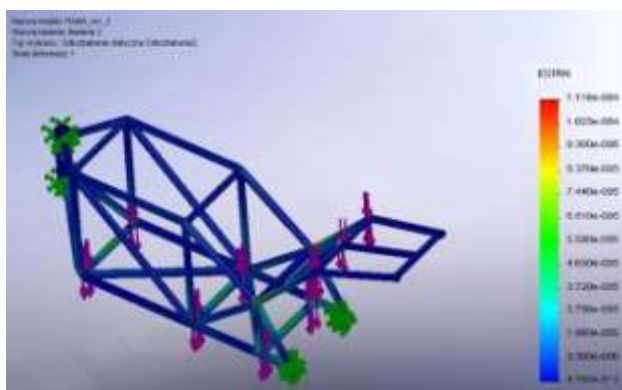
Rys. 5. Miejsca występowania maksymalnych naprężeń zredukowanych

Ramę przednią poddano analizie pod kątem występowania ugięcia elementów najbardziej podatnych temu zjawisku wyniosła $f = 1,23$ mm. Bardzo zbliżoną wartość uzyskano również podczas analizy MES, bowiem zanotowano maksymalną wartość wynoszącą $f = 1,12$ mm (rys. 6).



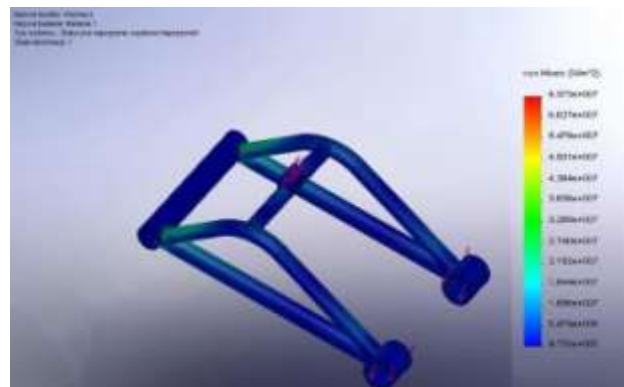
Rys. 6. Rozkład przemieszczeń występujących w ramie przedniej

Wyniki badania MES rozkładu odkształceń statycznych występujących w projektowanej ramie motocykla przedstawiono na rys. 7. Największa wartość odkształceń lokalizuje się w dolnych łącznikach ramy oraz w węźle środkowym tylnym wypuszczonym na osadzenie siedzenia kierowcy, analogicznie jak w przypadku naprężeń.

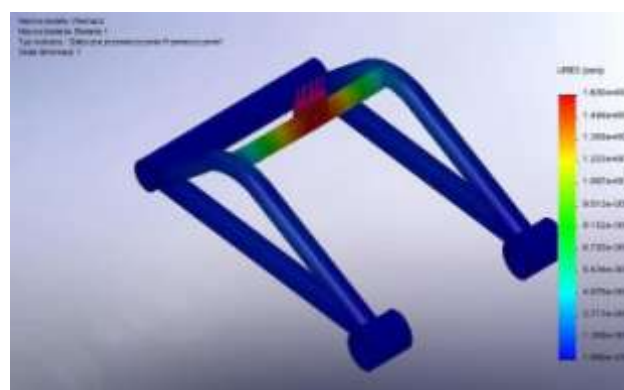


Rys. 7. Rozkład odkształceń równoważnych w ramie przedniej

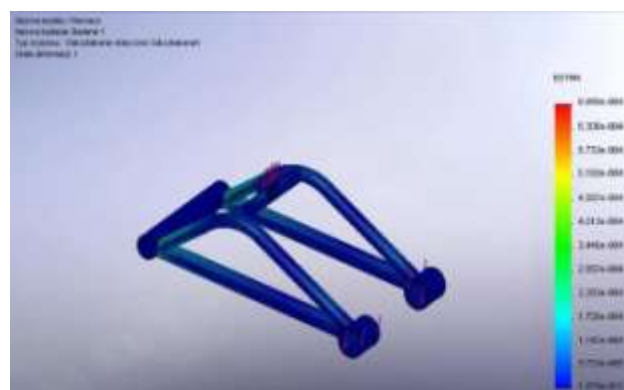
Analizę wytrzymałościową MES przeprowadzono także dla wahacza. Stwierdzono, że największa wartość naprężeń występuje w miejscu łączenia rury górnej i dolnej z tuleją łączącą wahacz z ramą. Jednak uzyskane rozkłady naprężeń nie przekraczają wartości dopuszczalnych (rys. 8). Analizę MES przeprowadzono też pod kątem występowania przemieszczeń w wahaczu (rys. 9). Stwierdzono, że najniebezpieczniejszym miejscem jest łączenie między górną a dolną częścią wahacza. Z obliczeń wytrzymałościowych uzyskano wartość strzałki ugięcia $f_2 = 1,58$ mm, zaś z analizy komputerowej wynika, że maksymalne ugięcie może osiągnąć wartość 1,63 mm. Są to zbliżone rezultaty, świadczące jednoznacznie o możliwości uznawania wyników obliczeń prowadzonych za pomocą metody elementów skończonych programu CosmosWorks. Rozkład odkształceń występujących w konstrukcji wahacza zaprezentowano na rys. 10. Stwierdzono, że największe odkształcenia występują w górnej części wahacza, a także w części obrotowej przyłączenia trzech profili. Należy zauważyć, że występujące odkształcenia są niewielkie, a więc nie wywołują trwałych zmian w konstrukcji.



Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w wahaczu



Rys. 9. Wartości przemieszczeń dla wahacza



Rys. 10. Wartości odkształceń równoważnych dla wahacza

Kolejnym zespołem poddanym analizom MES było połączenie przedniej ramy z wahaczem za pomocą centralnego elementu resorującego. Takie rozwiązanie zapewnia większą sztywność elementu tylnego, szczególnie przydatne przy przenoszeniu nacisków pochodzących od masy kierującego jak również od akumulatorów i silnika. W zamodelowanym połączeniu rozkład naprężeń jest równomierny w porównaniu do obserwowanego dla pojedynczych części (ramy i wahacza) i nie dochodzi w nim do występowania obszarów z dużymi naciskami powierzchniowymi. Wyniki analizy statycznych przemieszczeń przedstawiono na rys. 11. Maksymalne wartości

przemieszczenia (1,33 mm) występują w części dolnej ramy oraz w węźle tylnym wypuszczonym na osadzenie siedzenia kierowcy. Rozkład odkształceń statycznych zaprezentowano na rys. 12. Stwierdzono, że w zamodelowanej konstrukcji nie wystąpią trwałe odkształcenia materiału. Ich wartości są bardzo małe.



Rys. 11. Rozkład przemieszczeń dla zespołu konstrukcji ramy



Rys. 12. Wartości odkształceń równoważnych dla zespołu konstrukcji ramy

Podsumowanie

Modelowanie konstrukcji ramy motocykla o napędzie elektrycznym przeprowadzono w programie SolidWorks. Zaprojektowane modele poddano analizie wytrzymałościowej metodą elementów skończonych, którą przeprowadzono w dodatku CosmosWorks. Stwierdzono, że wszystkie komponenty spełniają warunki wytrzymałościowe.

Dzięki wykorzystaniu systemów CAD/CAM prace projektowe przebiegają szybko i sprawnie, a na szczególne podkreślenie zasługuje możliwość bieżącego dokonywania zmian geometrycznych i materiałowych.

Bibliografia

1. Cocco G.: *Motorcycle Design and Technology*. Motorbooks International, Milan (2004).
2. Foale T.: *Motorcycle Handling and Chassis Design: the art and science*. Wydano nakładem autora, Hiszpania (2002).

Modeling motorcycle frame structure with electric drive

Abstract

The article describes on the example of the motorcycle frame, the possibility of the use of CAD/CAE in the design process for part modeling and simulation of stresses occurring in them.

Key words: modeling, electric drive, motorcycle frame, CAD/CAE system.

Autorzy:

Dr inż. **Grzegorz Chomka** – Politechnika Koszalińska

Dr inż. **Jerzy Chudy** – Politechnika Koszalińska