

Robert POLASIK, Kamil ZIMNICKI

**PROJEKT I ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA
STOJAKA MOTOCYKLOWEGO W ŚRODOWISKU
AUTODESK INVENTOR**

Streszczenie: W artykule przedstawiono projekt i analizę wytrzymałościową stojaka motocyklowego. Projekt oraz analizę przeprowadzono w programie Inventor 2014 firmy Autodesk.

Słowa kluczowe: Metoda Elementów Skończonych, CAX, analizy wytrzymałościowe, stojak motocyklowy

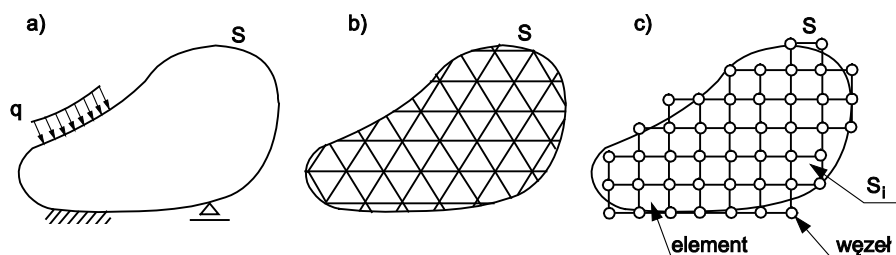
1. WPROWADZENIE

Metoda Elementów Skończonych (ang. FEA – *Finite Element Analysis*) jest obecnie jedną z podstawowych metod prowadzenia komputerowo wspomaganych obliczeń inżynierskich (ang. CAE – *Computer Aided Engineering*). Metoda elementów skończonych umożliwia przyspieszenie prac projektowych, a także w przypadku produkcji jednostkowej lub małoseryjnej w wielu przypadkach eliminuje potrzebę wykonania prototypu.

W ramach prac Koła Naukowego Narzędziowicz UTP, prowadzonych w Laboratorium Inżynierii Produkcji, postanowiono utworzyć model 3D stojaka motocyklowego, a także przeprowadzić jego analizę wytrzymałościową.

2. IDEA METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Metoda Elementów Skończonych (MES) jest jedną z metod dyskretyzacji układów geometrycznych ciągłych, tj. podziału kontinuum na skończoną liczbę podobszarów. Wobec powyższego, założenie metody zakłada modelowanie nawet bardzo złożonych obiektów (części, i zespołów) poprzez ich reprezentację za pomocą możliwie prostych geometrycznie elementów składowych, nawet z uwzględnieniem nieciągłości i wielofazowości materiałowych. Głównie założenie MES to podział modelu geometrycznego ciągłego (rys. 1) na elementy skończone, łączące się w tzw. węzłach, czego efektem jest utworzenie modelu geometrycznego dyskretnego. Efektem dyskretyzacji jest transformacja układu o nieskończonej liczbie stopni swobody (zdolności do zmiany wartości określonej współrzędnej) do postaci układu o skończonej liczbie stopni swobody [1-3].



Rys. 1. Dyskretyzacja modelu ciągłego – transformacja w zbiór (siatkę) elementów skończonych:

- a) model geometryczny ciągły, b) model dyskretny idealny,
 c) model dyskretny obliczeniowy [1]

Fig. 1. Continuous model discretization – transformation into a set (mesh) finite elements:

- a) continuous geometric model, b) discrete, ideal model,
 c) discrete model calculation [1]

2.1. Zalety Metody Elementów Skończonych

Podstawową zaletą MES jest możliwość uzyskania wyników dla skomplikowanych kształtów, dla których niemożliwe jest przeprowadzenie obliczeń analitycznych. Oznacza to, że dane zagadnienie może zostać poddane symulacji w pamięci komputera, bez konieczności budowania prototypu, co znacznie ułatwia proces projektowania [1, 2].

2.2. Struktura aplikacji wykorzystujących Metodę Elementów Skończonych

Współczesne aplikacje inżynierskie CAE, w których stosuje się MES, składają się z trzech wzajemnie współpracujących modułów, którymi są:

- preprocesor (służy m.in. do importu lub przygotowania geometrii, doboru rodzaju elementów skończonych, dyskretyzacji kontinuum, a także przyłożenia warunków brzegowych),
- solver (moduł przeznaczony do budowy oraz rozwiązania układu równań, na podstawie którego uzyskuje się poszukiwane wartości danych wielkości fizycznych),
- postprocesor (moduł służący do prezentacji oraz wspomagania interpretacji uzyskanych wyników).

Praktycznie, przed dyskretyzacją modelu CAD należy go poddać odpowiedniemu uproszczeniu, podczas którego należy usunąć elementy nieistotne, np. promienie, fazy, otwory, pochylenia itd. [1, 3].

2.3. Ograniczenia MES

Podstawowym ograniczeniem MES jest obecnie ograniczona wydajność komputerów oraz niedoskonałość oprogramowania. Należy pamiętać również, że jak każda metoda numerycznej aproksymacji, Metoda Elementów Skończonych wprowadza szereg możliwych błędów rozwiązania. Oto kilka z nich:

- błąd modelowania (zastosowany model matematyczny nie odzwierciedla dokładnie rzeczywistości),

- błąd wartości współczynników (przyjęte wartości współczynników równań różniczkowych cząstkowych i warunków brzegowych, czyli np. dane materiałowe, dane o interakcji obiektu ze światem zewnętrznym obarczone są błędem),
- błąd odwzorowania obszaru (obszar obliczeniowy nie odpowiada dokładnie rzeczywistemu obszarowi zajmowanemu przez analizowany obiekt),
- błąd dyskretyzacji; zastosowana metoda aproksymacji wprowadza błąd w stosunku do rozwiązania dokładnego problemu wejściowego,
- błąd zaokrągleń (ze względu na zastosowanie ograniczonej dokładności reprezentacji liczb w komputerze, rozwiązanie uzyskane programem komputerowym nie odpowiada rozwiązaniu przybliżonemu, które zostałoby otrzymane przy dokładnej reprezentacji liczb).

3. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE STOJAKÓW MOTOCYKLOWYCH

Obecnie istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych stojaków motocyklowych. Stosowane technologie produkcji i rozwiązania konstrukcyjne stojaków motocyklowych to: konstrukcje spawane, skręcane lub też konstrukcje składające się z wielu elementów montowanych na wcisk. Na rynku spotyka się konstrukcje dedykowane do konkretnego modelu motocykla lub też konstrukcje uniwersalne przeznaczone do wielu typów motocykli (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Stojak motocyklowy uniwersalny [4]
Fig. 2. Universal motorcycle stand example [4]



Rys. 3. Stojak motocyklowy dedykowany do motocykla Yamaha YZF R1 [5]
Fig. 3. Dedicated (for Yamaha YZF R1) motorcycle stand [5]

Aktualnie większość konstrukcji wymaga szeregu operacji w procesie produkcyjnym, co powoduje, że wyprodukowanie produktu wymaga znacznych nakładów finansowych.

4. PRZEBIEG BADAŃ

4.1. Obiekt badań

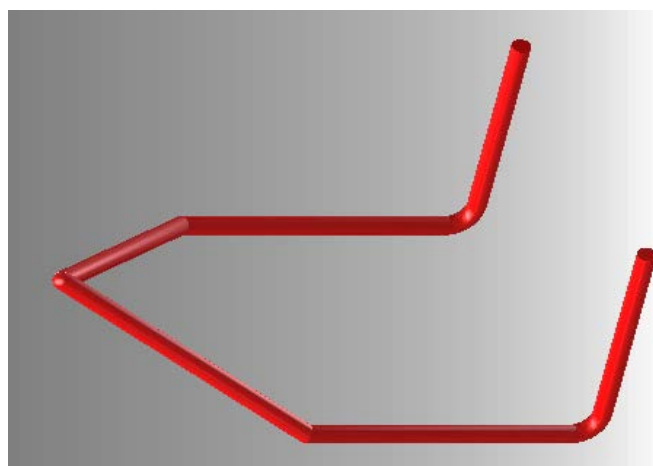
Obiektem użytym do badań było rozwiązanie konstrukcyjne stojaka motocyklowego wykonanego z rury o średnicy 25 mm i grubości ścianki 4 mm ze stali nierdzewnej, wykonanego w ramach działalności studenckiego Koła Naukowego Narzędziowicz. Opracowano wstępne założenia konstrukcyjne, a następnie, podczas wizyty na Międzynarodowych Targach Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki – TOOLEX – dzięki uprzejmości dystrybutora urządzeń do gięcia rur, wykonano prototyp podnośnika (rys. 4).



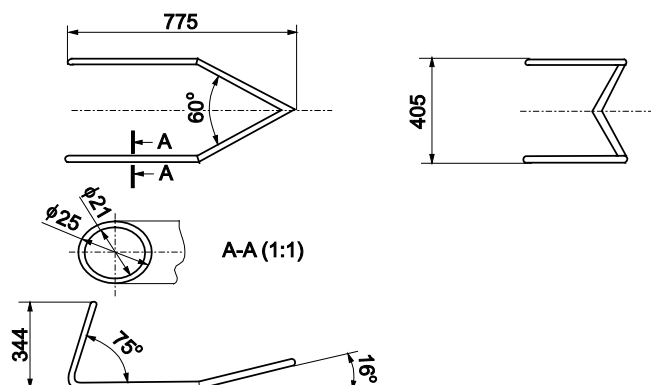
Rys. 4. Stojak motocyklowy – wykonanie własne
Fig. 4. Original main element of motorcycle stand (rack)

4.2. Wykonanie modelu 3D

Na podstawie obiektu rzeczywistego w programie Autodesk Inventor 2014 stworzono model 3D odwzorowujący jego kształt i wymiary (rys. 5 i 6).

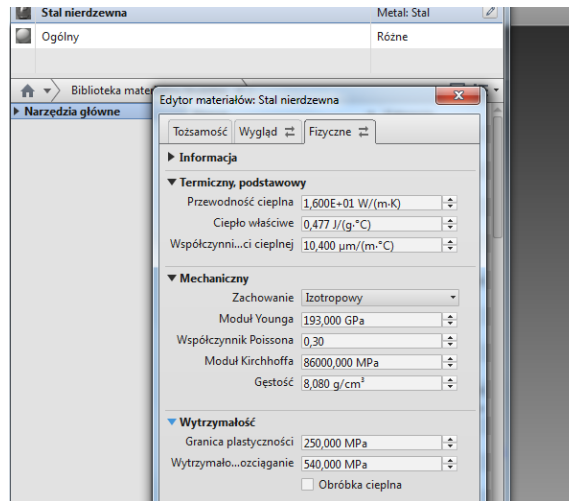


Rys. 5. Model 3D wykonany w programie Autodesk Inventor
Fig. 5. Autodesk Inventor 3D model of original motorcycle stand



Rys. 6. Wymiary gabarytowe obiektu
Fig. 6. Object main dimensions and angles

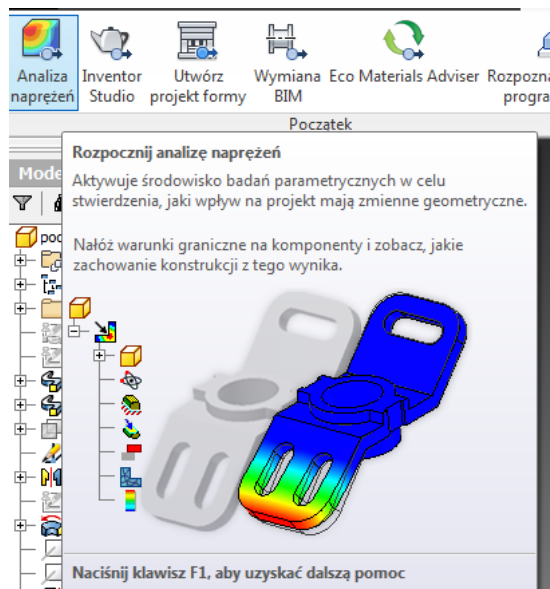
Po wykonaniu modelu 3D zdefiniowano materiał oraz właściwości fizyczne materiału (rys. 7).



Rys. 7. Definiowanie właściwości fizycznych materiału
Fig. 7. Physical properties definition

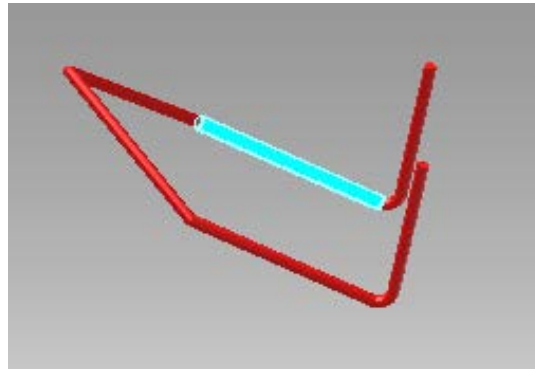
4.3. Analiza naprężeń

Model 3D zapisano jako część w formacie *.ipt programu Inventor. Na następnym etapie plik ten otworzono w nowym zespole i zapisano w formacie Standard.iam, następnie można było przejść do rozpoczęcia analizy naprężeń (rys. 8).

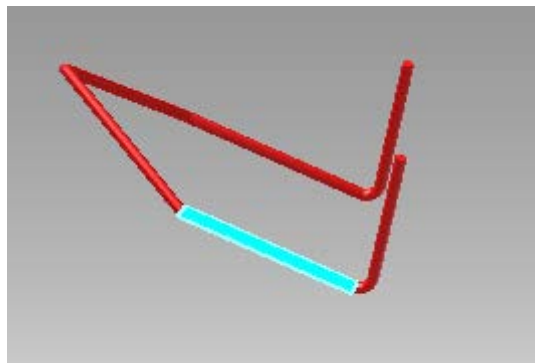


Rys. 8. Interfejs programu Autodesk Inventor 2014 – rozpoczęcia analizy naprężeń
Fig. 8. Autodesk Inventor 2014 user interface – stress analysis

Analiza naprężeń wymaga unieruchomienia pewnej powierzchni w analizowanym układzie. Na potrzeby przeprowadzenia analizy naprężeń modelu 3D stojaka motocyklowego unieruchomiono elementy stojaka, które w warunkach pracy obiektu pozostają zazwyczaj w spoczynku i są unieruchomione przez podłoże (rys. 9 i 10).

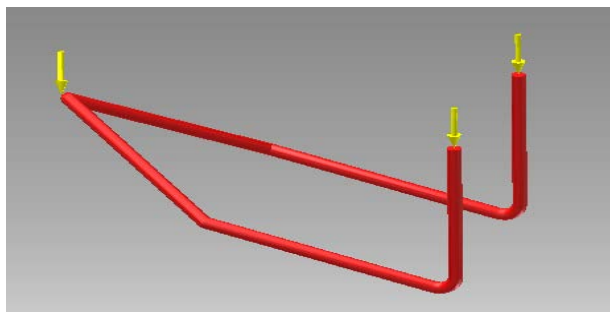


Rys. 9. Podpora nr 1
Fig. 9. Support no. 1



Rys. 10. Podpora nr 2
Fig. 10. Support no. 2

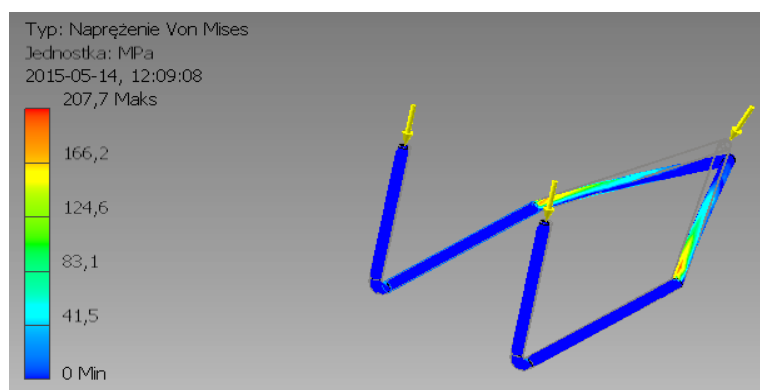
W celu przeprowadzenia analizy naprężeń model obciążono w trzech miejscach siłą o wartości 1000 N (rys. 11). Symulowało to obciążenie podpór stojaka motocyklem o masie równej 200 kg. Przyjęto założenie, że całkowita masa motocykla spoczywa na podporach stojaka, w rzeczywistości sytuacja taka nie powinna mieć miejsca. W chwili, w której motocykl spoczywa na stojaku, maksymalnie połowa jego masy może działać na stojak.



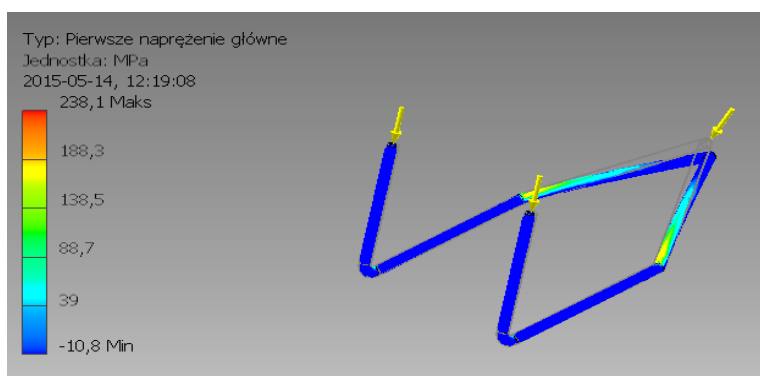
Rys. 11. Sposób obciążenia modelu w analizie
Fig. 11. The load model in the analysis

4.4. Wyniki analizy naprężeń

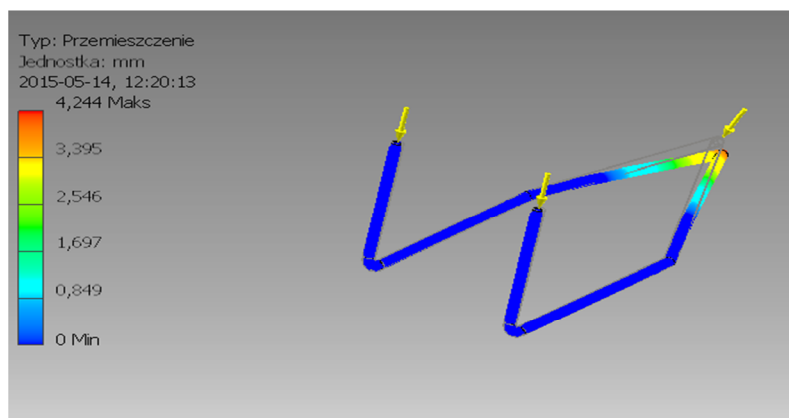
Wyniki symulacji naprężeń zaprezentowano w postaci graficznej na rysunkach 12-15.



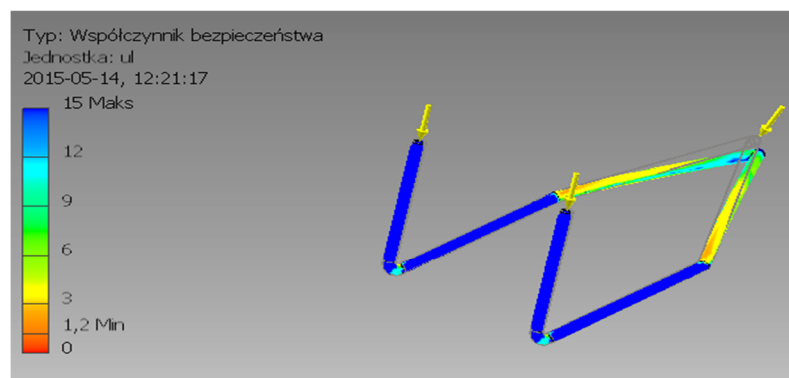
Rys. 12. Naprężenia Von Misesa
Fig. 12. Von Misses stress analysis



Rys. 13. Pierwsze naprężenie główne
Fig. 13. Primary main stress



Rys. 14. Przeszyczenie
Fig. 14. Displacements



Rys. 15. Współczynnik bezpieczeństwa
Fig. 15. Safety factor analysis

Na podstawie dokonanej analizy – wyników symulacji – można wnioskować, iż badany obiekt jest w stanie przenosić zadane obciążenia. Granica plastyczności nie została przekroczona. Współczynnik bezpieczeństwa w przypadku tego rodzaju konstrukcji jest również zadowalający.

Wykonanie analizy naprężeń za pomocą programu Autodesk Inventor zajmuje nieporównywalnie mniej czasu niż wykonanie obliczeń analitycznych, co w przypadku bardziej złożonych konstrukcji ma wpływ na przyspieszenie prac projektowych. Jednak w przypadku bardzo odpowiedzialnych części maszyn lub obiektów bardzo złożonych należy pamiętać o ograniczonym zakresie stosowania MES, a także należałoby przyjąć większy współczynnik bezpieczeństwa.

Dokonano eksperymentalnej weryfikacji poprawności wykonanych analiz. Prototypowy stojak zastosowano do podnoszenia tyłu wyścigowego motocyklu Yamaha RJ15. Nie zaobserwowano niepokojących symptomów, świadczących o złym doborze materiału, jego przekroju i kształtu. Opracowany stojak jest

lżejszy od oferowanych na rynku oraz nie wymaga zabezpieczania go powłokami antykorozyjnymi.

LITERATURA

- [1] RAKOWSKI G., KACPRZYK Z.: MES w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.
- [2] STASIAK F.: Autodesk Inventor Start!. Expert Books, 2008.
- [3] www.knse.pl/publikacje/, Krótki wstęp do zastosowania Metody Elementów Skończonych (MES) do numerycznych obliczeń inżynierskich.
- [4] www.moto-akcesoria.pl.
- [5] www.yamaha.pl.

DESIGN AND STRENGTH ANALYSIS OF MOTORCYCLE RACK, USING AUTODESK INVENTOR SOFTWARE

Summary: The article presents the design and analysis of race motorcycle stand. Design and analysis were performed in Autodesk Inventor 2014 and discussed.

Key words: Finite Element Analysis, CAx, strenght analysis, motorcycle stand