

Mateusz MUSIOŁ
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
mmateuszmusiol@gmail.com

Ireneusz J. JÓŹWIAK
Politechnika Wroclawska
Wydział Informatyki i Zarządzania
ireneusz.jozwiak@pwr.wroc.pl

Łukasz ŻABSKI
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
lucas.zabski@gmail.com

STRATEGIA PROJEKTOWANIA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH OBIEKTU Z UŻYCIEM OPTYMALIZACJI TOPOLOGICZNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono strategię postępowania przy projektowaniu wybranego elementu konstrukcyjnego obiektu, jakim był samochód wyścigowy wykorzystywany w wyścigu Formuły Studenckiej. Do określenia optymalnej geometrii elementu i obniżenia jego masy zaproponowano metodę optymalizacji topologicznej i opracowano algorytm projektowania. Przeprowadzono także badania symulacyjne. Zrealizowane symulacje pozwoliły na potwierdzenie tezy, że uzyskano obniżone naprężenia w obiekcie, a także obniżono jego masę.

Słowa kluczowe: element konstrukcyjny obiektu, strategia projektowania, optymalizacja topologiczna.

STRATEGIES OF DESIGNING OF STRUCTURAL ELEMENTS USING TOPOLOGIC OPTIMISATION

Summary. The paper presents a method of structural element design using the rocker suspension from Formula Student bolide as an example. The shown method allowed to reduce mass of the chosen structural object as well as obtaining lower reduced stresses. Algorithm was based on topologic optimization. Simulations confirmed the thesis that the reduced stresses and lower mass was obtained.

Keywords: object's structural element, designing strategy, topologic optimization.

1. Wprowadzenie

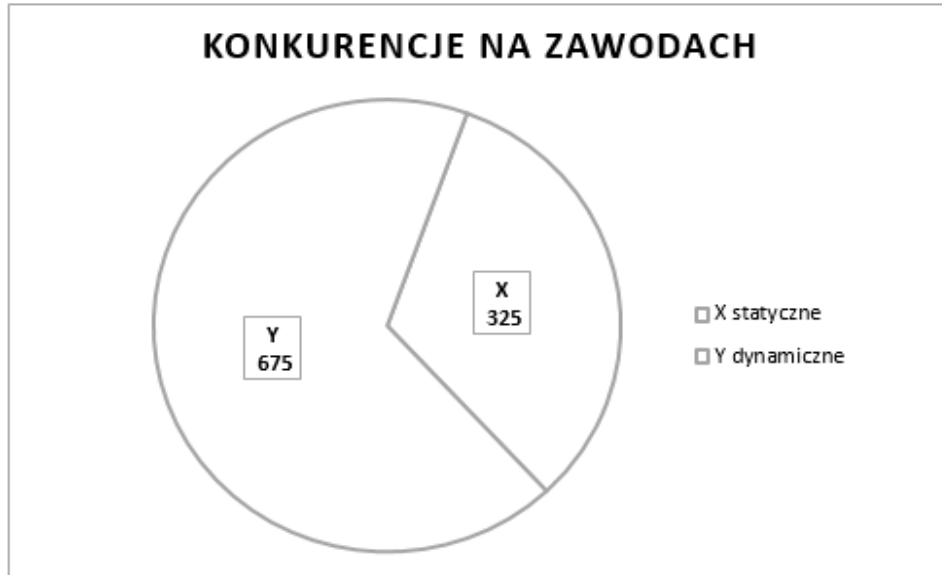
Optymalizacja topologiczna jest jedną z najnowszych metod projektowania elementów konstrukcyjnych. Z punktu widzenia dążeń firm produkcyjnych, które z powodu dużej konkurencyjności na rynku dążą do wytwarzania lżejszych i bardziej wytrzymałych produktów w porównaniu z obecnie produkowanymi, pogłębianie wiedzy dotyczącej optymalizacji produktu jest korzystnym posunięciem każdego inżyniera. Przykładem tutaj jest rynek motoryzacyjny. Obserwujemy z każdym rokiem postępujące wymagania dotyczące norm ekologicznych w powyższym przemyśle. Prowadzi to do rozwoju technologii umożliwiającej produkcję lżejszego, bardziej bezpiecznego, oszczędnego pod względem spalania paliw pojazdu. Istotne jest to także w przemyśle lotniczym, w którym stawiane są wysokie wymagania dotyczące redukcji masy samolotów, co sprawiło wprowadzenie materiałów kompozytowych na bazie włókna węglowego. Optymalizacja topologiczna wydaje się być dziedziną nauki, która w niedługiej przyszłości odgrywać będzie jedną z kluczowych ról. W pracy przedstawiono strategię optymalizacji topologicznej przy projektowaniu elementów zawieszenia bolidu budowanego na zawody studenckie Formuły Student [3]. Zadanie zostanie zrealizowane z użyciem programu HyperMesh [1], [2] z wykorzystaniem modułu obliczeniowego OptiStruct. Program ten jest najlepszym narzędziem spośród znanych do przeprowadzenia optymalizacji topologicznej. Celem optymalizacji będzie uzyskanie optymalnej geometrii zgodnej z wymaganiami wytrzymałościowymi.

2. Zawody Formuły Student

Zawody Formuły Student, to międzynarodowe zawody studentów polegające na zaprojektowanie i zbudowaniu małego jednoosobowego bolidu w stylu Formuły 1, by rywalizować z innymi zespołami na torach Formuły 1 i nie tylko. Zawody składają się z dwóch typów konkurencji: konkurencji statycznych oraz dynamicznych. Na rysunku 1 pokazano udział punktowy poszczególnych konkurencji na zawodach przy maksymalnej liczbie punktów wynoszącej 1000 [3].

Na rysunku 2 przedstawiono punktację konkurencji statycznych i dynamicznych. Konkurencje statyczne składają się z 3 typów:

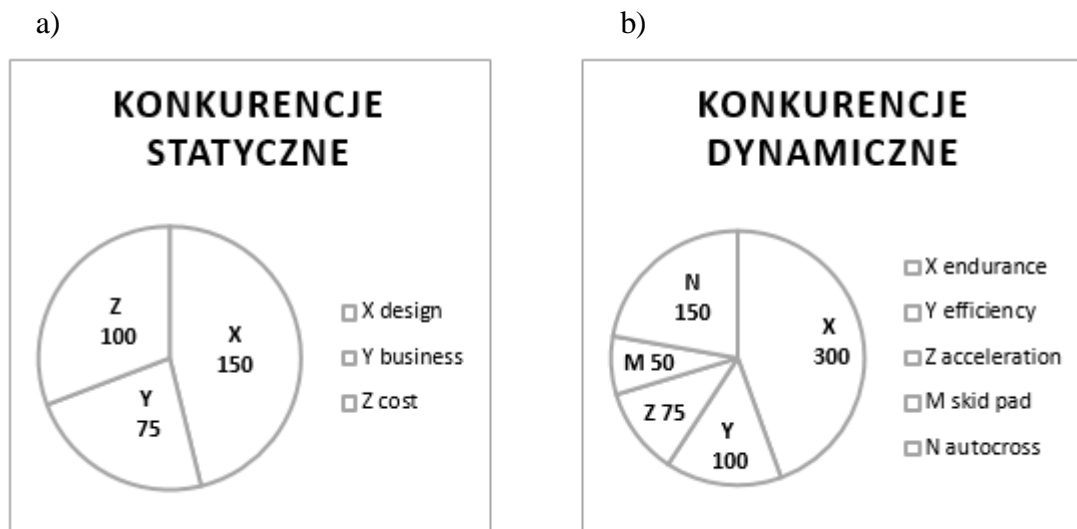
1. prezentacja bolidu od strony technicznej, tzw. Design – 150 pkt.,
2. przedstawienie raportu kosztów bolidu i wyjaśnienie doboru użytych technologii, tzw. Cost and Manufacturing – 100 pkt.,
3. prezentacja biznesplanu w celu sprzedaży bolidu, tzw. Business Presentation – 75 pkt.



Rys. 1. Wykres kołowy pokazujący udział punktowy konkurencji na zawodach

Fig. 1. Pie chart presenting scoring participation in each competition in the contest

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Wykresy kołowe przedstawiające udział punktowy poszczególnych konkurencji:
a) statycznych, b) dynamicznych

Fig. 2. Pie charts presenting scoring participation in each competition: a) static, b) dynamic

Źródło: Opracowanie własne.

Konkurencje dynamiczne składają się z 5 typów:

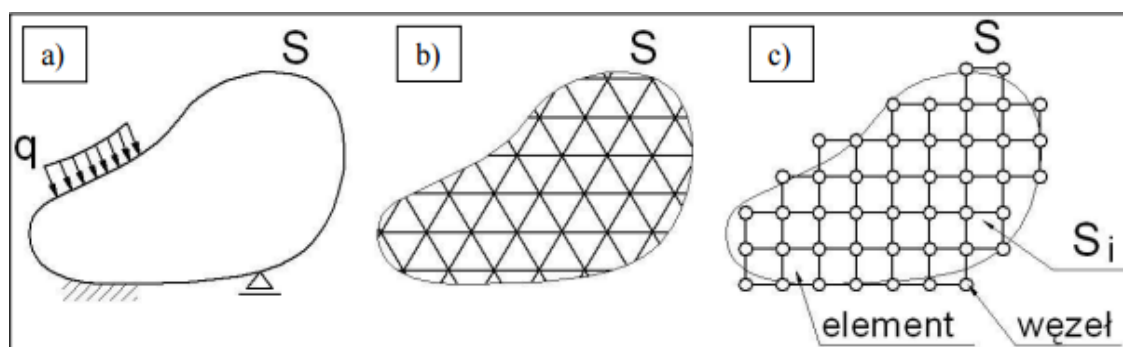
1. przyspieszenie bolidu na odcinku 75 m, tzw. Acceleration – 75 pkt.,
2. przejazd po torze w kształcie ósemki, tzw. Skid Pad – 50 pkt.,

3. czas przejazdu jednego okrążenia toru, tzw. Autocross – 150 pkt.,
4. zużycie paliwa podczas konkurencji Endurance, tzw. Efficiency – 100 pkt.,
5. wyścig na dystansie 22 km, tzw. Endurance – 300 pkt.

W zawodach od kilku lat startuje PWR Racing Team, pierwszy polski zespół składający się ze studentów Politechniki Wrocławskiej oraz Uniwersytetu Wrocławskiego. Do 2015 roku powstało 6 bolidów, a każdy kolejny model był ulepszany technologicznie. Budowa samochodu rozpoczyna się od fazy koncepcyjnej, następnie występuje faza projektowa i budowy samochodu, a co za tym idzie – zamawiania materiału, elementów do jego zbudowania. Zoptymalizowanie tych faz powstawania samochodu jest zadaniem kluczowym. Właściwa strategia postępowania daje później wymierne korzyści.

3. Metoda elementów skończonych

Metoda elementów skończonych (MES) jest w dzisiejszych czasach jedną z podstawowych metod wspomagania komputerowego w obliczeniach wytrzymałościowych [4-6]. Początki stosowania tej metody sięgają drugiej połowy lat 50. XX wieku.



Rys. 3. Dyskretyzacja modelu ciągłego: a) model ciągły geometryczny, b) model dyskretny, c) model dyskretny obliczeniowy [6]

Fig. 3. Discretization of continuous model: a) geometrical continuous model, b) discrete model, c) discrete model for calculations [6]

W literaturze przedmiotu za twórcę metody elementów skończonych uważa się polskiego matematyka Prof. Zienkiewicza. Metoda elementów skończonych polega na podziale geometrycznego modelu ciągłego na elementy skończone, które łączą się w węzłach, co powoduje utworzenie modelu geometrycznego dyskretnego. Dyskretyzację modelu ciągłego pokazano na rysunku 3. Wynikiem dyskretyzacji jest transformacja układu o nieskończonej liczbie stopni swobody do postaci układu o skończonej ich liczbie. Do rozwiązania poszczególnych zagadnień z mechaniki, wytrzymałości materiałów potrzebne jest określenie tzw. warunków brzegowych, czyli utwierdzeń, sił, momentów itd.

4. Optymalizacja topologiczna

Obecnie cena produktu odgrywa jedną z najważniejszych ról. Wynika z tego, że optymalizacja produktów bądź usług pełni kluczową funkcję w przemyśle. Zaczynając od optymalizacji finansów, elementów konstrukcyjnych i kończąc na procesach produkcyjnych, optymalizacja jest szeroko stosowana w różnych dziedzinach życia. Odgrywa ona bardzo ważną rolę przy projektowaniu samolotów, samochodów czy mostów. Postępujący wzrost cen materiałów konstrukcyjnych, takich jak stal, aluminium czy beton, zmusza firmy, a co za tym idzie – inżynierów – do poszukiwania lepszych rozwiązań, które powodują wyprodukowanie konkurencyjnego pod względem ceny czy wytrzymałości produktu. Przemysł lotniczy wprowadza nowocześniejsze, zoptymalizowane elementy konstrukcyjne do budowy samolotów, tak aby masa samolotu uległa zmniejszeniu. Również przemysł motoryzacyjny opracowuje nowoczesne technologie pomagające zaprojektować samochód lżejszy i bardziej bezpieczny w porównaniu z istniejącymi. W inżynierii mechanicznej istnieje kilka rodzajów optymalizacji: optymalizacja topograficzna, optymalizacja kształtu i optymalizacja topologiczna. Optymalizacja topologiczna jest podstawą do opracowania strategii umożliwiającej nadanie optymalnego kształtu i rozmieszczenia materiału w strukturze konstrukcyjnej w zadanej przestrzeni elementu. Przez dyskretyzację modelu algorytm matematyczny oblicza właściwości materiałowe dla każdego elementu, przyjmując wartości 0 lub 1, gdzie 0 odzwierciedla brak materiału w elemencie skończonym, 1 zaś jest równoważne z przydzieleniem 100% materiału w danym elemencie skończonym. Algorytm zmienia rozkład materiału, aby zoptymalizować cel zdefiniowany przez użytkownika według ściśle określonych ograniczeń. Algorytm wykorzystano do zaprojektowania bardziej optymalnych pod względem konstrukcyjnym wahaczy dźwigniowych. Obliczenia wahaczy dźwigniowych zostały przeprowadzone w programie HyperMesh v13 z modułem obliczeniowym OptiStruct [1, 2]. Program ten optymalizuje strukturę na podstawie algorytmu. Optymalizacja topologiczna składa się z czterech etapów:

1. Zaprojektowanie wstępnego modelu elementu poddawanego optymalizacji.
2. Przeprowadzenie optymalizacji topologicznej i wygenerowanie wyników.
3. Zamodelowanie finalnego elementu.
4. Obliczenie modelu metodą elementów skończonych.

Optymalizacji topologicznej poddano wahacze dźwigniowe zaprojektowane do bolidu RT06. Miejsca mocowania wahacza dźwigniowego do stabilizatora, popychacza, amortyzatora oraz konstrukcji nośnej są niezmiennie ze względu na narzuconą geometrię zawieszenia. Zmienił się natomiast rozkład materiału w modelach, przez co powstała struktura wahacza dźwigniowego przedniego i tylnego. Algorytm optymalizacji topologicznej wahaczy przednich i tylnych był następujący:

1. wygenerowanie struktury przy użyciu maksymalnie 35% materiału przeznaczonego do optymalizacji topologicznej,
2. przeprowadzenie optymalizacji, której celem jest obniżenie masy elementu oraz wygenerowanie wytrzymałej struktury modelu.

W wyniku przeprowadzonej optymalizacji program wygenerował zoptymalizowaną strukturę wahacza dźwigniowego. Obniżono masę oraz uzyskano właściwą geometrię.

5. Podsumowanie

Zaproponowana w pracy strategia postępowania w postaci algorytmu pozwala określić, czy zaprojektowany element spełnia wymagania wytrzymałościowe. Niewątpliwie do określenia warunków brzegowych badanego elementu, tj. wahacza dźwigniowego, przyczyniło się doświadczenie członków zespołu PWR Racing Team. Analizę przeprowadzono metodą elementów skończonych. Doświadczenie w analizach metodą elementów skończonych pozwoliło pójść o krok dalej i przeprowadzić optymalizację topologiczną. Symulacje zostały zrealizowane przy użyciu programu HyperWorks firmy Altair [1, 2]. Dzięki optymalizacji zauważono zalety, jakie ma zaproponowana w artykule metoda projektowania elementów konstrukcyjnych. Metoda ta pozwoliła na zredukowanie masy elementu konstrukcyjnego wybranego obiektu, a także obniżenie jego naprężenia. Uzyskano także nową geometrię elementu.

Bibliografia

1. Altair Univesity, Practical Aspects of Finite Element Simulation. A study guide Academic Program 2015.
2. Altair Univesity, Practical Aspects of Structural Optimization. A study guide Academic Program 2015.
3. 2016 Formula SAE Rules,
<http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf> (14.02.2015).
4. Dacko M., Borkowski W., Dobrociński S., Niezgoda T., Wieczorek M.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Arkady, Warszawa 1994.
5. Rakowski G., Kacprzyk Z.: MES w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.

6. Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.

Abstract

The strategy of algorithm-like proceeding proposed in the paper allows to define if the designed element meets strength requirements. To identify boundary conditions of examined element which was a rocker suspension undoubtedly experience of PWR Racing Team members was used. The experience in Finite Element Method analysis allowed to go one step further and conduct a topologic optimisation. Simulations were conducted using Altair's company program - HyperWorks. The conducted optimisation allowed to notice the advantages which brings proposed in the paper method of designing structural elements. This method allowed to reduce mass as well as lower stresses of the chosen element. Algorithm was based on topologic optimization. Simulations confirmed the thesis that the reduced stresses and lower mass was obtained.