

# Optymalizacja topologiczna konstrukcji podnośnika samochodowego

Dawid Skiba<sup>1</sup>, Dariusz Skibicki<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: dawski6@gmail.com

<sup>2</sup> Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

\* Autor korespondencyjny: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano proces konstrukcyjny, w którym zasadniczym elementem jest optymalizacja topologiczna konstrukcji nośnej podnośnika samochodowego typu „żaba”. Optymalizacja tak skomplikowanej konstrukcji była możliwa dzięki zastosowaniu zaawansowanego modułu optymalizacyjnego programu Autodesk Fusion 360. W wyniku optymalizacji zredukowano masę podnośnika do 67% jego masy początkowej. Jednocześnie zachowano wymaganą sztywność oraz wytrzymałość konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** proces konstrukcyjny, optymalizacja topologiczna, metoda elementów skończonych

---

## Topological optimization of the car lift structure

Dawid Skiba<sup>1</sup>, Dariusz Skibicki<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: dawski6@gmail.com

<sup>2</sup> Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

\* Correspondent author: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

**Summary:** The work presents the construction process that is dying down to the topological optimization stage of the "frog" type car lift. The optimization of such a complex structure was possible thanks to the use of the advanced optimization module of the Autodesk Fusion 360 program. As a result of the optimization, the weight of the lift was reduced to 67% of its initial weight. At the same time, the required rigidity and strength of the structure were maintained.

**Key words:** construction process, topological optimization, finite element method

## 1. Wstęp

W przypadku bardzo wielu konstrukcji ważnymi celami, jakie stawia przed sobą inżynier konstruktor, jest uzyskanie minimalnej masy oraz gabarytów. Przykładem może być podnośnik samochodowy. W tym przypadku należy dążyć, ażeby urządzenie to było jak najmniejsze i jak najlżejsze, po to aby było „mobilne”. Jednocześnie konstruktor powinien zadbać, aby sztywność oraz wytrzymałość urządzenia spełniały wymagania dotyczące bezpieczeństwa użytkowania.

Do tej pory konstruktor posiadał wiele narzędzi CAD i CAE wspomagających projektowanie. Nie pozwalały one na realną optymalizację złożonych geometrycznie konstrukcji. Dopiero połączenie w jednym programie środowiska CAD służącego do modelowania geometrycznego, metody elementów skończonych działającej na tym modelu oraz optymalizacji topologicznej stworzyło realną szansę na rozwiązywanie zagadnienia optymalizacyjnego dla inżynierskich konstrukcji [1, 5].

Celem badań było jest skonstruowanie optymalnego pod względem masy układu przenoszenia obciążeń podnośnika samochodowego typu „żaba”. Do tego celu wykorzystano system optymalizacji topologicznej zaimplementowany w programie Autodesk Fusion 360.

Artykuł powstał na podstawie wyników pracy dyplomowej współautora Dawida Skiby [4].

## 2. Metoda badawcza

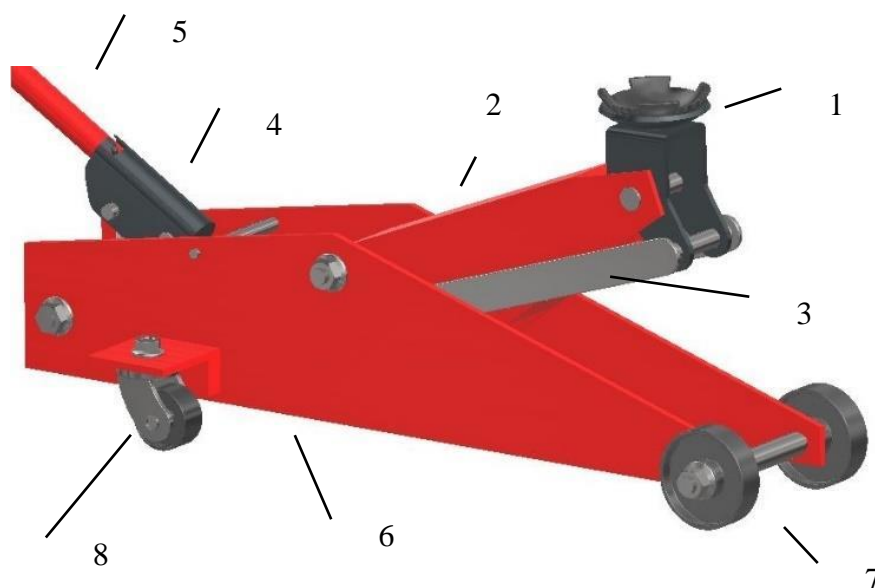
### 2.1. Optymalizacja topologiczna

Topologia jest dziedziną matematyki zajmującą się badaniem właściwości obiektów geometrycznych, które nie ulegają zmianie w czasie transformacji (zginaniu, skręcaniu lub rozciąganiu) tych obiektów. Właściwości te są niezmiennicze. Optymalizacja topologiczna polega na takim rozmieszczeniu materiału w objętości obiektu, aby przy założonych kryteriach, np. wytrzymałościowych, element projektowanej konstrukcji był jak najlżejszy. Algorytm procesu optymalizacji topologicznej redukuje masę w miejscach, w których materiał nie spełnia ważnej roli w przenoszeniu obciążeń [2, 3].

### 2.2. Opis urządzenia

Przedmiotem badań modelowych jest ramieniowy podnośnik hydrauliczny typu „żaba”. Jego głównym przeznaczeniem jest podnoszenie pojazdów na niewielką wysokość. Urządzenie montuje się pod obiektem. Założono, że maksymalny udźwig urządzenia ma wynosić do 2000 kg. Mechanizm podnoszący składa się z siodełka (1) i ramienia (2) (rys. 1). Utrzymywanie pionowej pozycji siodełka zapewnia stabilizator (3). Napęd mechanizmu stanowi siłownik hydrauliczny, który poprzez wysuwanie tłoczyska steruje położeniem ramienia i siodełkiem podnośnika. Sterowanie siłownikiem odbywa się dzięki mechanizmowi (4), którego ramię można przedłużyć za pomocą drażka (5). Wszystkie elementy zamocowane zostały

do płyt bocznych (6). Ustawienie podnośnika pod podnoszonym pojazdem jest możliwe dzięki kółkom stabilizującym (7) i manipulacyjnemu (8).



Rys. 1. Model bryłowy podnośnika samochodowego [4]

Fig. 1. Construction of a car jack [4]

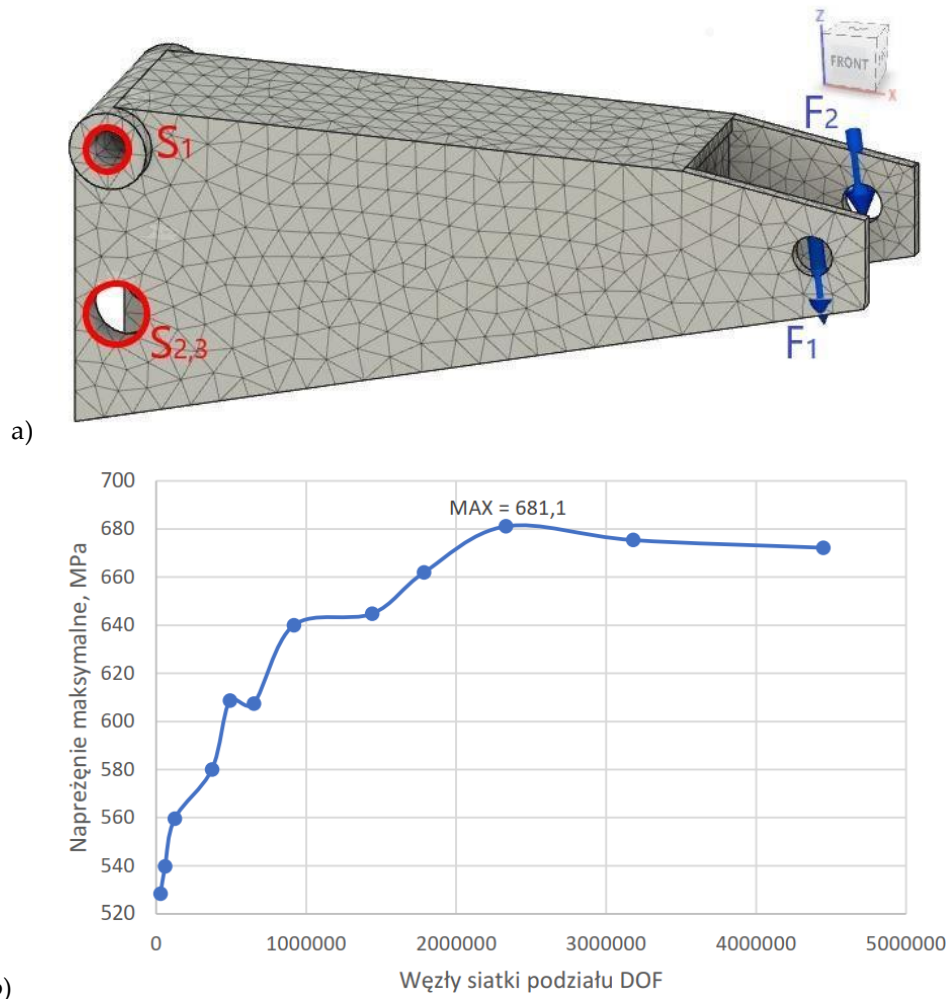
### 2.3. Założenia optymalizacyjne

- Do procesu optymalizacyjnego przyjęto następujące założenia konstrukcyjne:
- udźwig maksymalny 2000 kg,
  - minimalny współczynnik bezpieczeństwa 1,5 (wg dyrektywy 2006/42/WE),
  - naprężenia maksymalne w elementach nośnych konstrukcji nie mogą być większe od maksymalnych naprężeń w konstrukcji przez optymalizacją.

## 3. Wyniki

### 3.1. Model MES

Budowę modelu MES poprzedzono analizą jakości generowanej automatycznie siatki elementów skończonych (rys. 2a). Najmniejszy błąd dyskretyzacji osiągnięto w 10. iteracji analizy, tzn. dla 2 mln stopni swobody. Odpowiadało to średniemu rozmiarowi elementu skończonego równemu 1 mm (rys. 2b).

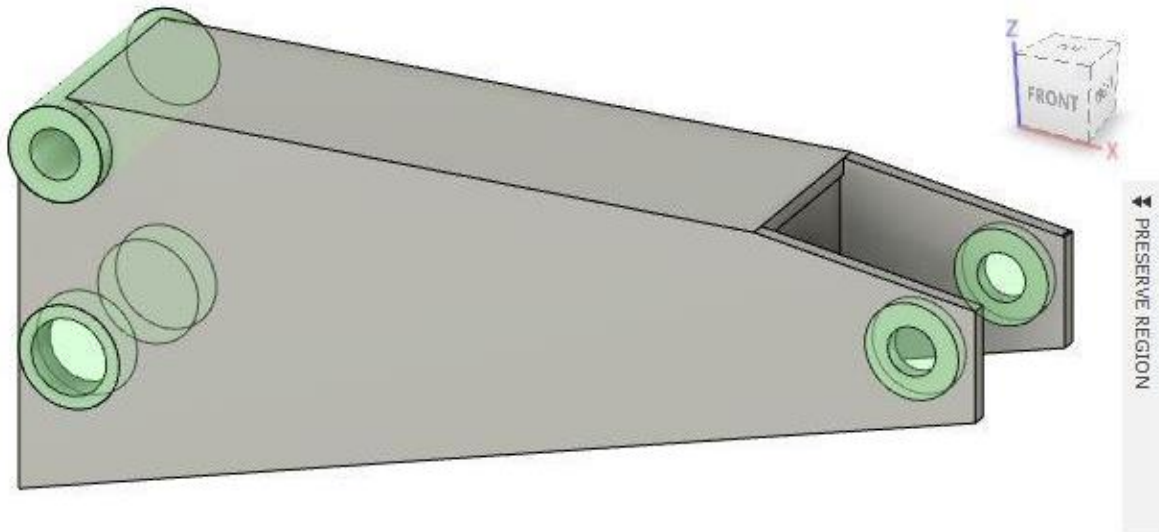


Rys. 2. Warunki brzegowe (a) i parametry siatki modelu ramienia (b) [4]

Fig. 2. Boundary conditions (a) and element parameters of the arm (b) [4]

### 3.2. Model optymalizacyjny

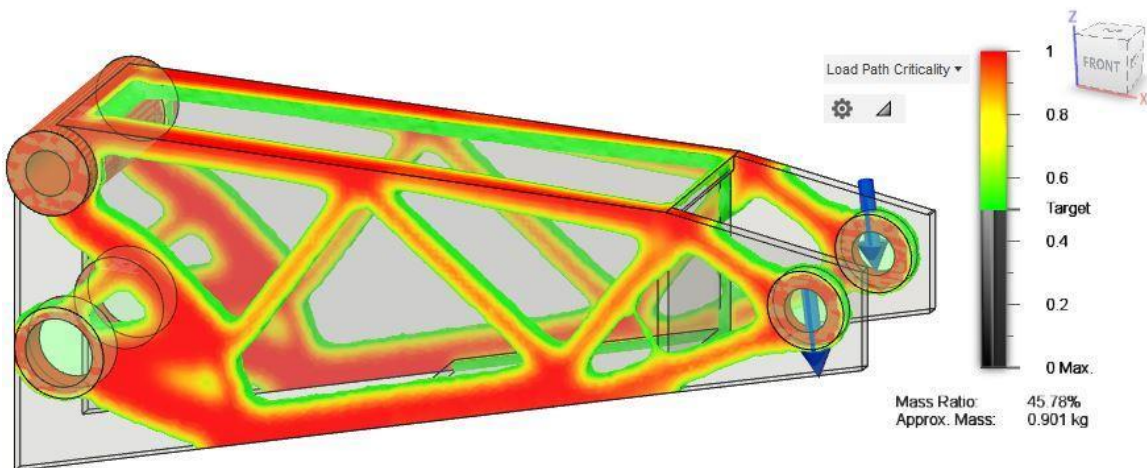
Przed uruchomieniem procedury optymalizacji topologicznej należało ustalić jej parametry. Przyjęto, że celem jest zredukowanie masy do 45% jej wartości początkowej. Metodą prób i błędów ustalono, że jest to najmniejsza wartość tego parametru. Wartość mniejsza niż 45% powoduje, że elementy podnośnika stają się „ażurowe”. Algorytm optymalizacji topologicznej usuwa wówczas obszary elementu ramienia ważne dla właściwego przeniesienia obciążenia. Dlatego zdefiniowano te objętości konstrukcji, które nie powinny zostać poddane optymalizacji. Obszary te, głównie otwory do osadzenia osi, pokazano na rys. 3.



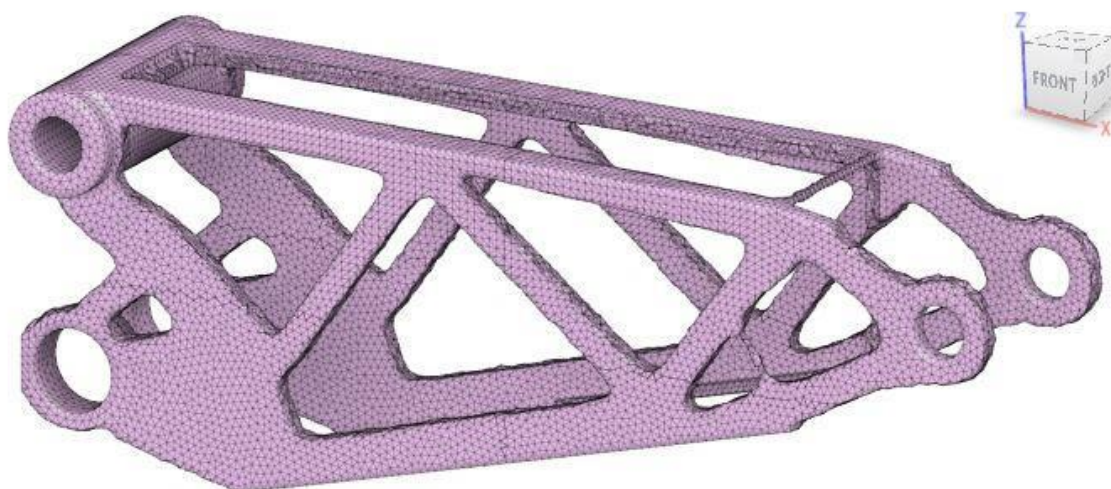
Rys. 3. Model ramienia podnośnika z określonymi obszarami niepodlegającymi optymalizacji [4]  
Fig. 3. A model of a lift arm with specific areas that cannot be optimized [4]

### 3.3. Optymalizacja ramienia podnośnika

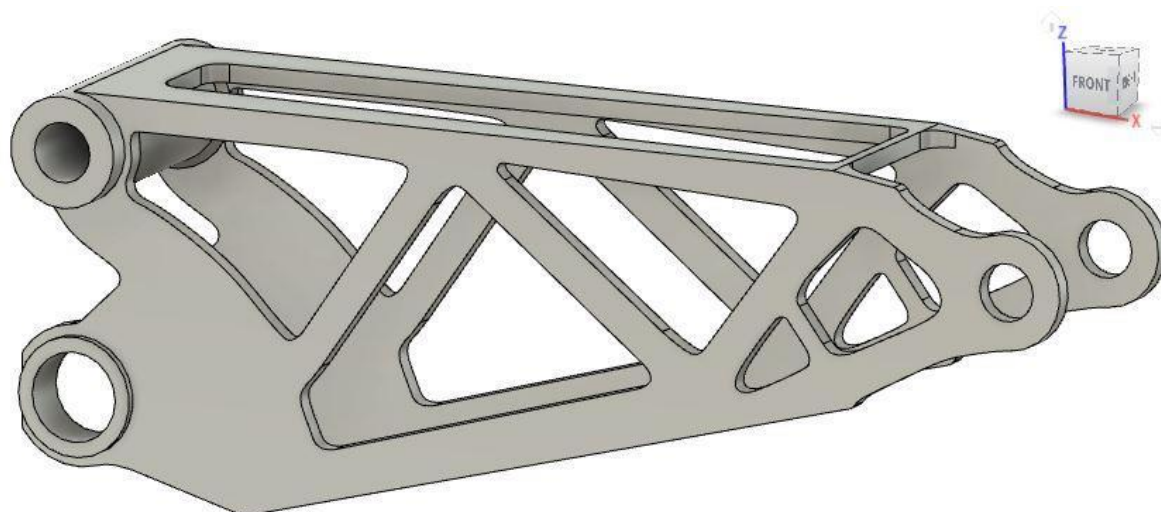
W wyniku optymalizacji uzyskano rozkład masy ramienia podnośnika jak na rys. 4. Na tej podstawie przygotowano kolejny model MES, który posłużył do weryfikacji zoptymalizowanej konstrukcji pod względem wytrzymałościowym (rys. 5). Na tej podstawie, uwzględniając uwarunkowania technologiczne, przygotowano model gotowej części (rys. 6).



Rys. 4. Optymalizacja konstrukcji ramienia podnośnika samochodowego [4]  
Fig. 4. The optimization of the structure of the car lift arm [4]



Rys. 5. Model MES zoptymalizowanego ramienia [4]  
Fig. 5. FEM model of an optimized arm [4]



Rys. 6. Model gotowego ramienia [4]  
Fig. 6. Model of the ready part [4]

### 3.4. Zoptymalizowany model podnośnika

Cały podnośnik samochodowy ważył początkowo 8,5 kg. Ramię podnośnika zmniejszono o 1,1 kg. Masę panelu bocznego zredukowano natomiast o 0,8 kg. Ponieważ w konstrukcji urządzenia występują dwie boczne płyty, redukcja ich masy spowodowała utratę masy aż o 1,7 kg. Konstrukcja podnośnika samochodowego po optymalizacji topologicznej uzyskała masę 5,8 kg, czyli 67,7% wartości jego masy początkowej. Dla porównania na rys. 7 przedstawiono modele podnośnika samochodowego przed optymalizacją i po jej przeprowadzeniu.



Rys. 7. Model bryłowy Podnośnik samochodowy przed (góra) oraz po (dół) optymalizacji [4]

Fig. 7. Car lift before (top) and after (bottom) topological optimization [4]

#### 4. Wnioski

Zrealizowanie zadania optymalizacji topologicznej spowodowało znaczne zmniejszenie masy podnośnika przy zachowaniu wymaganej wytrzymałości i sztywności. Co bardzo ciekawe i wręcz nieoczekiwane, inny układ przenoszenia obciążeń spowodował nawet niewielkie zmniejszenie wartości naprężeń maksymalnych.

W wyniku optymalizacji sztywność ramienia udało się zwiększyć o 12,8%. Sztywność płyt bocznych zwiększono o 4,3%. Masę urządzenia zmniejszono aż o 32,2%. Masa początkowa podnośnika to 8,5 kg, a po procesie optymalizacji tylko 5,8 kg. Warto zauważyć, że masę ramienia podnośnika zmniejszono aż o 54,3%. Algorytm optymalizacyjny zdołał osiągnąć założone kryterium wynoszące 45% masy początkowej. Niestety kryterium to nie zostało osiągnięte dla płyt bocznych. Ich masę udało się zmniejszyć jedynie o 37,1%.

Ostatecznie można stwierdzić, że moduł optymalizacji topologicznej zaimplementowany w programie Autodesk Fusion 360 jest efektywnym narzędziem inżynierskim, pozwalającym na przeprowadzenie optymalizacji nawet złożonych konstrukcji.

## Bibliografia

- [1] Bici, M., Broggiato, G.B., Campana, F., "Topological Optimization in Concept Design: starting approach and a validation case study", in: B. Eynard, V. Nigrelli, S. Oliveri, G. Peris-Fajarnes, S. Rizzuti (eds), *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45781-9\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45781-9_30) (2017).
- [2] Kutyłowski, R., „Optymalizacja topologii kontinuum materialnego”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- [3] Ostwald, M., „Podstawy optymalizacji konstrukcji”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003.
- [4] Skiba, D., „Optymalizacja topologiczna konstrukcji podnośnika samochodowego”, praca magisterska, Wydział Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej, Bydgoszcz 2021.
- [5] Wełyczko, A., artykuł pochodzi z wydania 7/8 (118/119) lipiec/sierpień 2017, „Alternatywa dla »klasycznego« modelowania CAD”, *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*, konstrukcjeinzynierskie.pl (dostęp: 04.01.2021).



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).