

Aleksandra Mikulíková

## Inżynierskie odchudzanie

**Ciężki wózek dziecięcy, ciężki rower, ciężki samolot, ciężka ciężarówka... Tak jak ciężki wózek czy rower można sobie wyobrazić przy pokonywaniu wysokich krawężników czy wnoszeniu tych przedmiotów po schodach, tak przy pojęciu ciężkiego samolotu czy ciężarówki nazywanie wózka czy roweru „ciężkimi” wydaje się niewłaściwe.**

Najczęściej określenie „ciężki” stosujemy do przedmiotów z życia codziennego, które wymagają użycia naszej siły. To, czy coś jest ciężkie czy lekkie, jest pojęciem względnym i często zależy wyłącznie od naszej subiektywnej oceny i odniesienia (rys. 1). Choć wszystkie wymienione pojazdy należą do różnych kategorii wagowych, to interes w ich „odchudzaniu inżynierskim” rośnie wprost proporcjonalnie do ich masy.



Rys. 1. Ciężkie czy lekkie? Oto jest pytanie... [3]

### Inżynierskie odchudzanie? Komu to potrzebne?

Cóż, z potrzebą „odchudzania inżynierskiego” może zmierzyć się zarówno matka niemowlaka, sportowiec, kierowca ciężarówki czy udziałowiec firmy lotniczej. Każda z wymienionych osób może odczuć fizycznie i finansowo efekty „odchudzania inżynierskiego” użytkowanych wyrobów oraz ich konstrukcji.

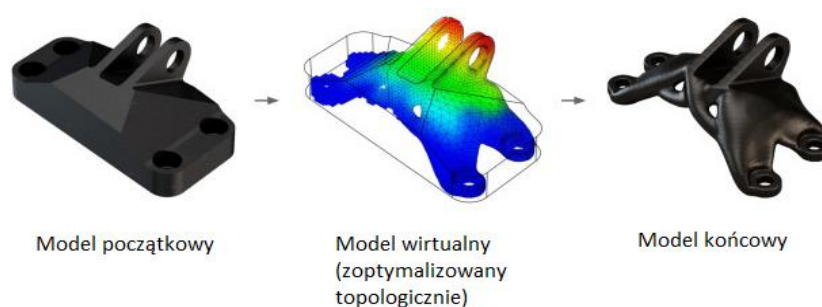
Jeżeli wózek dziecięcy jest ciężki, to jego „odchudzenie” doceni głównie matka, która poza radością z przyrostu masy swojej pociechy – pasażera wózka – doceni każdy odjęty kilogram z masy samego pojazdu, szczególnie przejeżdżając przez wysokie krawężniki czy pakując wózek do samochodu.

Kiedy zostanie „odchudzony” rower, ulgę z pewnością poczuje rowerzysta wnoszący go po schodach na 3. piętro budynku. Poza tym obniżona masa roweru wpłynie także na lepsze osiągi kolarza. Z kolei „odchudzenie” ciężarówki spowoduje, że portfel kierowcy będzie cięższy o pieniądze zaoszczędzone na tankowaniu paliwa, którego zużycie rośnie proporcjonalnie do masy pojazdu. Im cięższy pojazd, tym większe spalanie i większe zapotrzebowanie na paliwo. Jeżeli ktoś w tym momencie zasugeruje zmniejszenie ładunku ciężarówki, to niestety trzeba na tym etapie zaznaczyć, że ładunek to pieniądze, dlatego odchudzając konstrukcję pojazdu, należałoby przyjąć maksymalną masę dopuszczalną ładunku, a odchudzać należy wyłącznie ciężarówkę (i ewentualnie jej kierowcę).

Jeżeli „odchudzimy” samolot, to ulgę (przynajmniej finansową – związaną także ze spalaniem i zapotrzebowaniem paliwa) poczuje firma lotnicza, a być może i pasażer, gdy w związku z niższą masą własną samolotu, zwiększone zostaną zakresy dopuszczalnej wagi bagażu osobistego.

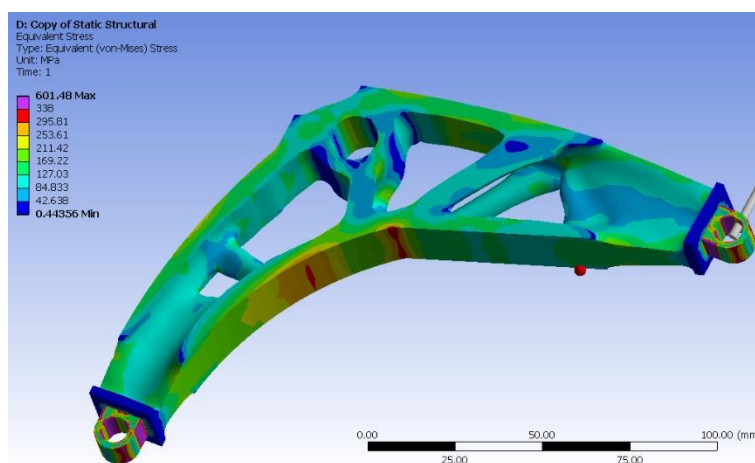
**W jaki sposób „odchudzić” wymienione wyżej pojazdy? Jak nie stracić przy tym na ich wytrzymałości? Jak zmieni się ich kształt po odchudzaniu?**

Otóż konstruktorzy znają pewien sposób „odchudzania” konstrukcji, który zwany jest **optymalizacją topologiczną**. Definicja optymalizacji topologicznej określa ją jako rodzaj metody obliczeniowej, która umożliwia uzyskanie optymalnego rozkładu tworzywa w danej przestrzeni projektowej dla określonego zestawu ograniczeń (np. obciążeń przenoszonych przez konstrukcję) [1]. Upraszczając całą definicję, można powiedzieć, że algorytmy optymalizacji topologicznej „wyrzucają” zbędne kilogramy tworzywa z danej objętości modelu początkowego, uwzględniając założone warunki (np. jak wytrzymała ma być konstrukcja?) i nadając jej tym samym nowy „odchudzony” kształt (rys. 2). Cały proces optymalizacji przebiega w środowisku wirtualnym przy użyciu oprogramowania inżynierskiego (np. Altair Inspire), a jej wynik – model końcowy – opracowywany jest starannie przez inżyniera-konstruktora.



Rys. 2. Przykład przebiegu etapów optymalizacji topologicznej [4]

Proces optymalizacji topologicznej nie może jednak obniżyć wartości kilku cech konstrukcji, np. wytrzymałości czy sztywności danych elementów. Tak jak prawidłowa dieta odchudzająca powinna prowadzić ludzi do znacznej utraty masy, ale także utrzymania (a czasem i wzrostu) ich dotychczasowej siły czy wydolności fizycznej, tak samo optymalizacja topologiczna przy znacznej minimalizacji masy własnej elementów, utrzymuje ich pożądaną wytrzymałość czy sztywność. Wartości te (m.in. naprężenia i odkształcenia) analizowane i weryfikowane są przez inżynierów najczęściej w specjalistycznych programach przeznaczonych do analizy wytrzymałościowej MES (metodą elementów skończonych) takich jak np. ANSYS (rys. 3).



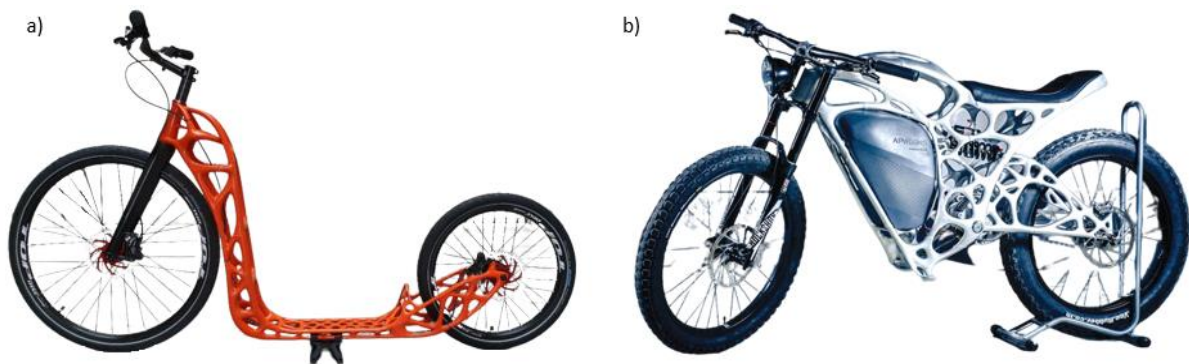
Rys. 3. Analiza MES wytrzymałości (m.in. naprężeń zredukowanych) elementu zoptymalizowanego topologicznie [5]

Kolejnym obrazowym podobieństwem odchudzania oraz optymalizacji topologicznej jest także wizualny efekt końcowy: w przypadku ludzi – piękna sylwetka, natomiast w przypadku konstrukcji – często oryginalne opływowe kształty bioniczne. Ze względu na oryginalną formę, która jest wynikiem procesu, optymalizacja topologiczna znalazła swoje miejsce w projektach artystycznych takich jak m.in. przedstawiony na rys. 4 projekt duńskiego дизайнера Jorisa Laarmana.



Rys. 4. Krzesła zoptymalizowane topologicznie a) Bone Chair, b) Bone Armchair, c) Bone Rocket Chair [6]

Wytwarzanie konstrukcji zoptymalizowanych topologicznie wiąże się obecnie z użyciem zaawansowanych materiałów (np. kompozytów, sproszkowanych metali). Całemu procesowi optymalizacji topologicznej konstrukcji sprzyjają także dynamicznie rozwijające się technologie wytwarzania takie jak technologie addytywne, zwane potocznie drukiem 3D [2]. Przykładem zastosowania technologii addytywnej SLM (selektywnego spiekania laserowego z proszków metali) do wytworzenia konstrukcji zoptymalizowanych topologicznie są przedstawione na rys. 5 ramy pojazdów – hulajnogi oraz motocyklu elektrycznego.



Rys. 5. Zoptymalizowana topologicznie rama a) hulajnogi [7], b) motocyklu elektrycznego "Light Rider" [8]

Poprzez połączenie optymalizacji topologicznej, zaawansowanych materiałów oraz zaawansowanych technologii wytwarzania, projektowane elementy konstrukcyjne posiadają takie same lub ulepszone parametry techniczne i własności wytrzymałościowe, przy mniejszym zużyciu materiału przeznaczonego do ich wytworzenia, a tym samym elementy te posiadają niższą masę. Koncepcja tego typu podejścia inżynierskiego jest ciągle rozwijana i wykorzystywana w wielu branżach. Optymalizacja topologiczna konstrukcji zyskuje swoją popularność oraz zainteresowanie w różnych obszarach: od architektury, przez przemysł motoryzacyjny, lotniczy aż po produkcję przedmiotów użytku codziennego.

## Literatura

- [1] Bendsoe M.P., Sigmund O.: Topology Optimization: Theory, Methods and Applications; Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2003
- [2] Dodziuk H.: *Druk 3D/AM. Zastosowania oraz skutki społeczne i gospodarcze*; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019
- [3] Ilustracja: mrówka - <https://onekindplanet.org/animal/ant/ant-leaf-small/>
- [4] Ilustracja: etapy optymalizacji topologicznej <https://www.engineering.com/story/topology-optimization-for-3d-printing-hits-the-cloud-with-generate> [dostęp 10-11-2022]
- [5] Ilustracja: analiza MES <https://www.finiteelementanalysis.com.au/featured/topological-optimisation-with-ansys-17-0/> [dostęp 10-11-2022]
- [6] Ilustracja: krzesła projektu Jorisa Laarmana <https://www.jorisslaarman.com/work/bone-chair/> [dostęp 10-11-2022]
- [7] Ilustracja: hulajnoga - Mesicek, J.; Jancar, L.; Ma, Q.-P.; Hajnys, J.; Tanski, T.; Krpec, P.; Pagac, M. Comprehensive View of Topological Optimization Scooter Frame Design and Manufacturing. *Symmetry* 2021, 13, 1201. <https://doi.org/10.3390/sym13071201>
- [8] Ilustracja: motocykl *Light Rider* <https://www.wired.com/2016/06/light-rider-motorcycle-weighs-just-77-pounds-costs-um-56k/> [dostęp 10-11-2022]