

Komisja Architektury i Urbanistyki Oddziału Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

11 kwietnia 2025 r. godz. 18.00

Wykład w siedzibie Oddziału Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu ul. Podwale 75



Michał Nowak

Biomimetyczna metoda optymalizacji strukturalnej – nowy paradygmat projektowania konstrukcji o wysokiej sztywności

Wykład poświęcony będzie przedstawieniu biomimetycznej metody optymalizacji strukturalnej, wzorowanej na adaptacyjnej przebudowie kości beleczkowej. Podstawy teoretyczne bazują na rozważaniach dotyczących optymalizacji strukturalnej dla uzyskania konstrukcji o najwyższej sztywności. Do sformułowania problemu optymalizacji i określenia funkcji celu niezbędne jest ustalenie stanu optymalizowanej konstrukcji. Jeżeli przyjmie się, że celem procedury optymalizacyjnej jest maksymalizacja sztywności struktury, to jest to równoznaczne z minimalizacją funkcjonału:

$$J(\Omega) = \int_{\Gamma_1} t \cdot u \, ds$$

przy ograniczeniach:

$$\int_{\Omega} dx - V_0 = 0$$

z równaniami stanu, opisującymi stany napięć, przemieszczeń i odkształceń w konstrukcji:

$$\operatorname{div} \sigma(u) = 0 \quad \text{w obszarze} \quad \Omega$$

$$\sigma(u) \cdot n = t \quad \text{na powierzchni} \quad \Gamma_1$$

$$u = 0 \quad \text{na powierzchni} \quad \Gamma_0$$

gdzie:

Ω – domena, obszar zajmowany przez konstrukcję,

u – wektor przemieszczenia,

t – stały wektor sił powierzchniowych,

$V_0 = |\Omega_0|$ – objętość materiału konstrukcji,

Γ_0 – powierzchnia zamocowania konstrukcji,

Γ_1 – powierzchnia obciążenia konstrukcji siłami powierzchniowymi,

Γ_v – część swobodna brzegu, przy czym:

$$\partial\Omega = \Gamma_0 \cup \Gamma_1 \cup \Gamma_v$$

Rozpatrując warunki optymalności rozwiązania, otrzymuje się zależność:

$$\sigma(u) : \varepsilon(u) = \lambda = \text{const}$$

Oznacza to, że dla osiągnięcia minimum energii w strukturze, a więc struktury o najwyższej sztywności, gęstość energii odkształcenia na powierzchni struktury musi mieć stałą wartość. W medycynie znane jest zjawisko dążenia stale przebudowującej się struktury kości beleczkowej do realizacji właśnie takiego celu i jest to opisywane jako homeostaza. Stała gęstość energii odkształcenia na powierzchni struktury będąca celem zjawiska remodelingu kości beleczkowej jest kluczowa dla osiągnięcia najlepszych właściwości wytrzymałościowych struktury kostnej dla ciągle zmieniających się obciążeń zewnętrznych. Szczegółowa analiza sposobu realizacji tego celu przez Naturę prowadzi do sformułowania nowego paradygmatu projektowania, pozwalającego na odrzucenie ograniczeń dotyczących dotychczas opracowanych metod optymalizacji strukturalnej, w szczególności w obszarze optymalizacji topologicznej. Zamiast sztucznego założenia ograniczenia objętościowego, czyli wypełnienia w założonym stopniu materiałem objętości określonej domeny można przyjąć założenie dotyczące stałej gęstości energii odkształcenia na powierzchni struktury. Biomimetyczna metoda optymalizacji pozwala w ten sposób na odniesienie założeń całego procesu optymalizacji bezpośrednio do właściwości materiałowych. Szczególnie atrakcyjne dla inżynierów jest także automatyczne rozwiązanie problemu poszukiwania optymalnej struktury dla wielu przypadków obciążenia. Co więcej, ponieważ w procedurze optymalizacyjnej nie występuje założenie istnienia sztucznego materiału, jak to jest w tradycyjnych procedurach optymalizacji topologicznej, wynik optymalizacji jest funkcjonalną strukturą, a co za tym idzie, nie są potrzebne dodatkowe operacje dotyczące interpretacji wyników czy też stosowanie filtrów morfologicznych. Przyjmując za cel wyrównanie gęstości energii odkształcenia na powierzchni struktury oraz wykorzystując szczegóły realizacji takiego celu zaobserwowane dla zjawiska przebudowy kości beleczkowej powstał system optymalizacji strukturalnej o unikatowych cechach. Przedstawiony zostanie algorytm obliczeń optymalizacyjnych oraz szczegóły jego implementacji w środowisku superkomputerowym. Zaprezentowane zostaną także przykłady wykorzystania systemu do projektowania konstrukcji lotniczych, dla których wymagane są obliczenia multidyscyplinarne, realizowane za pomocą systemów obliczeń równoległych. Ważnym kierunkiem wykorzystania wyników optymalizacji strukturalnej jest zastosowanie metod wytwarzania przyrostowego i także taki aspekt użycia opracowanej metody zostanie zilustrowany konkretnymi przykładami wdrożeń przemysłowych. Na zakończenie omówiona zostanie komercyjna wersja oprogramowania (superficialis.com), bazująca bezpośrednio na algorytmie biomimetycznej optymalizacji strukturalnej.

Więcej informacji:

Nowak M., Polak J., Napierała O., The Implementation of Biomimetic Structural Optimization Software in a Supercomputing Environment , Theories, Models and Simulations of Complex Physical Systems / red. Eugeniusz Świtoński - Cham, Switzerland : Springer, 2024 - s. 139-153 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-73161-7_13, 2023

Polak J., Nowak M., From Structural Optimization Results to Parametric CAD Modeling - Automated, Skeletonization-Based Truss Recognition, Applied Sciences - 2023, vol. 13, iss. 9, s. 5670-1-5670-24 100 pkt. IF 2,5 <http://dx.doi.org/10.3390/app13095670>

Nowak M., Boguszewski A., Topology Optimization Without Volume Constraint – the New Paradigm for Lightweight Design, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences , vol. 69, issue 4/2021, pp. e137732, 10.24425/bpasts.2021.137732, 2021

Nowak M., Sokołowski J., Żochowski A., Biomimetic Approach to Compliance Optimization and Multiple Load Cases, J Optim Theory Appl. 184: pp. 210–225, <https://doi.org/10.1007/s10957-019-01502-1>, 2020.

Nowak M., Sokołowski J., Żochowski A., Justification of a certain algorithm for shape optimization in 3D elasticity, Structural and Multidisciplinary Optimization DOI 10.1007/s00158-017-1780-7, February 2018, Volume 57, Issue 2, pp. 721–734, 2018