

Popularno-naukowe streszczenie projektu

Podstawowym zadaniem inżyniera konstruktora jest opracowanie (w danym obszarze projektowym) konstrukcji, która dane obciążenie ciężarem własnym oraz obciążenie działające na ustalonej powierzchni przenosi do podpór lub do miejsca, gdzie mogą być zaprojektowane podpory. Przedmiotem optymalizacji (czyli operacji minimalizacji) jest objętość użytego materiału lub podatność konstrukcji. Projekt optymalny wybiera się spośród konstrukcji o jednakowym koszcie użytego materiału. Tak sformułowane zadania należą do klasy zadań optymalizacji topologii konstrukcyjnej (structural topology optimization: STO), która stopniowo zastępuje optymalizację parametryczną.

Opracowano jak dotąd trzy metody (a właściwie trzy grupy metod), które zadania projektowe STO redukują do poprawnie sformułowanych zadań matematycznych. Metoda (1) przyjmuje, że poszukiwana jest konstrukcja prętowa; celem optymalizacji jest podatność a koszt jest proporcjonalny do całkowitej objętości. To zadanie jest matematycznie równoważne zadaniu Michella minimalizacji objętości konstrukcji z warunkami ograniczającymi wartości naprężeń osiowych przez jednakowe co do wartości naprężenia dopuszczalne przy ściskaniu i rozciąganiu. Metoda (2) dotyczy konstrukcji złożonej z dwu izotropowych materiałów; celem optymalizacji jest minimalizacja podatności a koszt jest równy objętości jednego z materiałów. Metoda (3) dotyczy projektowania modułów sprężystych; celem optymalizacji jest podatność a koszt jednostkowy jest przyjmowany jako równy sumie wartości własnych macierzy modułów sprężystych. Aby metoda (3) należała do klasy zadań STO, na macierz modułów sprężystych nakłada się tylko jedno ograniczenie: gęstość energii sprężystej nie może przyjmować wartości ujemnych.

Wszystkie wymienione metody STO mają wbudowany matematyczny (nie: numeryczny!) mechanizm *wyodrębniania projektu optymalnego z przestrzeni projektowej*. Metoda (1) określa położenia węzłów i połączenia prętów. Metoda (2) wyodrębnia konstrukcję optymalną i określa położenie wzajemne obu składników. Metoda (3) wyodrębnia konstrukcję optymalną i określa rozkład cech materiałowych.

Pierwsze dwa planowane zadania badawcze projektu udoskonalają dostępne wersje metody (3). Celem poprawy jest eliminacja osobliwości wyników projektowania, która wyraża się nieograniczonym wzrostem wartości optymalnych modułów sprężystych w miejscach koncentracji naprężeń. Poprawę uzyskuje się przez wprowadzenie warunków plastyczności, które lokalnie ograniczają pewne skalarne charakterystyki stanu naprężenia; jednocześnie metoda (3) nie traci atrybutu metod STO: *wyodrębniania obszaru materialnego z obszaru projektowego*. Kolejne planowane udoskonalenia uwzględniają czułość odpowiedzi materiału na znak naprężenia lub opisują specyficzne cechy stanów naprężenia powstających w konstrukcjach z betonu zbrojonego, murowych oraz konstrukcjach wykonanych z kompozytów zbrojonych włóknami, które nie przenoszą sił ściskających. Okazuje się, że ta korekta zachowuje nadmienioną właściwość wyodrębniania obszaru materialnego z obszaru projektowego. Ta właściwość jest wbudowana w zadania pomocnicze metod (3) w ujęciu naprężeniowym. W celu udoskonalenia metod numerycznych planuje się uzupełnienie tych sformułowań o zadania równoważne w ujęciu przemieszczeniowym (w celu utworzenia tzw. par dualnych o zerowej luce). Rozwiązania optymalne będą więc konstruowane równoległe dwoma sposobami, co daje pewność, że wyniki są poprawne. Te zadania mają matematyczną strukturę problemów optymalnego transportu; operacja minimalizacji po własnościach sprężystych prowadzi bowiem do nowych zadań, które są opisywane zupełnie innymi równaniami fizyki matematycznej niż wyjściowe zadanie mechaniki konstrukcji; są bliższe opisowi zjawisk transportu niż opisowi stanu deformacji.

Planowane badania dostarczają odpowiedzi na pytania jak zaprojektować konstrukcję z dostępnego materiału, materiału podlegającego uplastycznieniu lub czułego na znak naprężenia, w celu optymalnego przeniesienia obciążenia do strefy podporowej. Pierwotne wersje metod (3) przyjmowały model małych deformacji sprężystych. Inne, obecne w literaturze, nie omawiane tu podejścia są symulacjami numerycznymi; odnoszą się do ujęć skończenie-elementowych. Jednakże operacje optymalizacji i dyskretyzacji nie są przemienne; poprawnie realizowany proces optymalizacji musi bazować na wyjściowym opisie w ramach mechaniki ośrodka ciągłego. Jednym z celów projektu jest poprawne uogólnienie metod (3) zachowujące ujęcie kontynualne, nie poprzedzone procesem dyskretyzacji.

Trzecie planowane zadanie badawcze dotyczy projektowania równomiernie ściskanych przekryć nad daną płaską podstawą. Modele fizyczne takich przekryć były w przeszłości tworzone np. ze sznurów z ciężarkami; można je podziwiać w muzeum projektów Antoniego Gaudiego w bazylice Św. Rodziny w Barcelonie. Te modele nie są poprawne; są próbą tworzenia konstrukcji przestrzennej z wiszących linii sznurowych. Naturalnego uogólnienia wieloboków sznurowych na siatki powierzchniowe nad obszarami płaskimi, których odwrócenie tworzą przekrycia w pełni ściskane, dostarczają: nadmieniona metoda Michella w przestrzennym ujęciu numerycznym oraz nowo odkryte przez zespół projektowy ujęcia wariacyjne kształtowania siatek łukowych Pragera i Rozvany'ego pod obciążeniem pionowo-ukierunkowanym, śledzącym projekt. Planuje się opracowanie teorii i metod numerycznych tworzących te konstrukcje.