

Wykorzystanie koncepcji superelementu w optymalizacji konstrukcji z belek ażurowych

PIOTR DANIELCZYK*

Proces rozwiązywania zadania optymalizacji z wykorzystaniem metody elementów skończonych, szczególnie w przypadku złożonych modeli obliczeniowych i skomplikowanych analiz, wymaga zaangażowania znaczących mocy obliczeniowych. Dlatego w zadaniach optymalizacji upraszcza się model dyskretny tak, aby możliwe było uzyskanie rezultatów w akceptowalnym czasie [3]. Inną metodą prowadzącą do ograniczenia zapotrzebowania na moc obliczeniową może być wykorzystanie techniki modelowania z użyciem superelementów. Wówczas rozpatrywany problem inżynierski rozkłada się na szereg mniejszych, które można rozwiązać niezależnie. Zastosowanie superelementu jest szczególnie przydatne do modelowania powtarzalnych fragmentów konstrukcji, dla których można zdefiniować tzw. superelementy wtórne [2].

Wykorzystanie tej idei przedstawiono na przykładzie zadania poszukiwania optymalnych wymiarów konstrukcji nośnej dachu hali o wymiarach $A=22$ m, $B=48$ m (rys. 1). Jest ona złożona z powtarzających się części (dźwigary), które są niejako naturalnymi superelementami, a więc doskonale nadaje się do modelowania tą właśnie metodą.

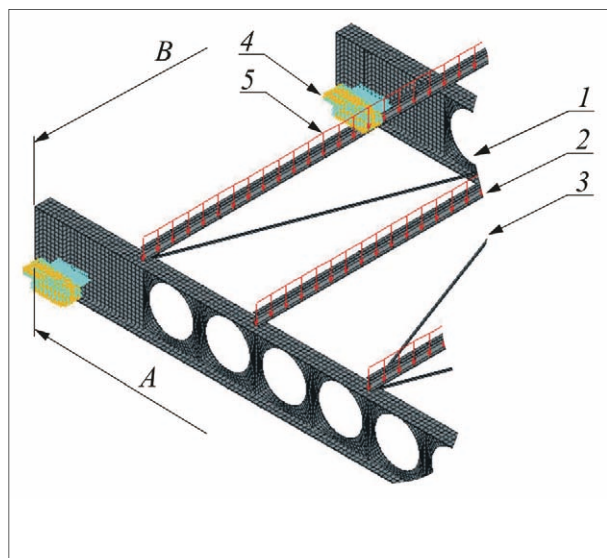
Sformułowanie zadania optymalizacji

Zadanie optymalizacji, z uwzględnieniem odpowiednich wymagań wytrzymałościowych [4, 5], sformułowano następująco:

- zmienne decyzyjne: grubość środnika g , wysokość dźwigara h , liczba dźwigarów N_d ,
- funkcja celu: masa dźwigarów $m \rightarrow \min$,
- ograniczenia:
 - maksymalne naprężenia zredukowane w dźwigarach nie mogą przekroczyć wytrzymałości obliczeniowej dla stali S235JR,
 - ugięcie dźwigarów nie może przekroczyć ugięcia dopuszczalnego.

Modele obliczeniowe

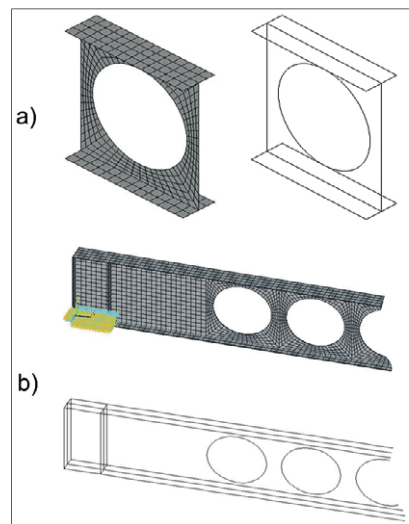
Na potrzeby rozwiązania zadania optymalizacji wykonano, wykorzystując pakiet Ansys, trzy modele obliczeniowe hali. Model pełny dachu hali (rys.1) zbudowano wykorzystując do modelowania: dźwigarów 1 – ośmiowęzłowe elementy powierzchniowe *Shell 93*, płatwi 2 – elementy belkowe *Beam 188*, tężników 3 – elementy prętowe *Link 8*. Tak przygotowany model uzupeł-



Rys. 1. Model pełny dachu hali (fragment)

niono o podparcia 4. Nacisk działający na dach hali $p=1,932$ kN/m², wyznaczony stosownie do wytycznych właściwych norm, został rozłożony na płatwie w postaci obciążenia ciągłego 5. Do analiz przyjęto charakterystykę materiału konstrukcji o własnościach zgodnych z [5].

Kolejne dwa modele różnią się od przedstawionego sposobem modelowania dźwigara. Przy ich budowie wykorzystano technikę modelowania z użyciem superelementów. W pierwszym przypadku zdefiniowano superelement, bazując na dyskretnym modelu pojedynczego segmentu belki (rys. 2a), w drugim – definicja superelementu odpowiada całemu pojedynczemu dźwigarowi (rys. 2b). Do rozwiązania zadań wykorzystano metodę *subproblem approximation* [1]. Jest to metoda rzędu zerowego, dla zadania z ograniczeniami, będąca implementacją metody wewnętrznej funkcji kary.



Rys. 2. Definicja superelementu a) dyskretny model pojedynczego segmentu, b) pojedynczy dźwigar

Wyniki obliczeń. Podsumowanie

Analizując otrzymane rezultaty należy stwierdzić, że optymalne wartości zmiennych decyzyjnych ($g=7,4$ mm, $h=0,77$ m, $N_d=10$) uzyskane z analizy trzech przedstawionych modeli są identyczne. Tak samo przebiegał proces poszukiwania rozwiązania optymalnego. Masa konstrukcji o wymiarach optymalnych wynosi $m=13271$ kg.

Wykorzystanie w analizie superelementów pozwala na znaczące skrócenie czasu potrzebnego do znalezienia rozwiązania optymalnego. W przypadku superelementu bazującego na modelu pojedynczego dźwigara, czas ten jest ponadsześciokrotnie krótszy niż przy analizie modelu pełnego. Dla superelementu wykonanego w oparciu o model dyskretny pojedynczego segmentu dźwigara czas analizy uległ trzykrotnemu skróceniu. Nie do przecenienia jest jednak większa uniwersalność tego ostatniego sposobu modelowania – w łatwy sposób można analizować konstrukcje z dźwigarami o różnej rozpiętości.

Wielkość plików generowanych podczas analiz modeli zawierających superelementy jest również znacząco mniejsza niż w przypadku analizy modelu pełnego.

LITERATURA

1. Ansys Help SYSTEM.
2. G. RAKOWSKI, Z. KACPRZYK: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Warszawa Wydawnictwo PW 2005.
3. J. STADNICKI: Teoria i praktyka rozwiązywania zadań optymalizacji z przykładami zastosowań technicznych. Warszawa WNT 2006.
4. W. ŻÓŁTOWSKI, M. ŁUBIŃSKI, A. FILIPOWICZ: Konstrukcje metalowe. Cz. 1. Warszawa Arkady 2007.
5. PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

* Dr inż. Piotr Danielczyk – Wydział Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej