

Niezawodność wybranych stalowych konstrukcji prętowych typu diagrid

Streszczenie rozprawy doktorskiej

W niniejszej pracy podjęto rozważania nad tematem analizy niezawodności wybranych stalowych konstrukcji prętowych typu diagrid. Ze względu na ich potencjał estetyczny, wysoką adaptacyjność, a także rosnącą popularność architektoniczną, uznano za istotne zbadanie ich realizacji, a następnie porównanie wyników z uzyskanymi dla tradycyjnych rozwiązań o ortogonalnej (lub radialnej) siatce. Pod terminem konstrukcja typu diagrid rozumie się bowiem prętową strukturę jednowarstwową powstałą w wyniku triangulacji powierzchni (podziału z zastosowaniem oczka trójkątnego).

Zbadano ich 3 grupy często stosowane w praktyce: dźwigary płaskie, powłoki walcowe i kopuły. Analizy miały wyłącznie charakter numeryczny i obejmowały użycie elementów skończonych w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Porównywane konstrukcje były w nim każdorazowo wymiarowane deterministycznie zgodnie z obowiązującymi normami dotyczącymi projektowania konstrukcji stalowych, a następnie było możliwe uzyskanie wyników dyskretnych potrzebnych do dalszych obliczeń. Otrzymano je z analizy stateczności liniowej, drgań własnych oraz statycznej, w której uwzględniono efekty drugiego rzędu (nieliniowość geometryczna).

Przy porównywaniu rozpatrzono następujące funkcje stanu (i związane z nimi stany graniczne): maksymalne przemieszczenie poziome, ugięcia globalne i lokalne, częstotliwość drgań własnych, ekstremalne naprężenia zredukowane, a także minimalny współczynnik krytyczny. Przedstawiano je w osobnych, niezależnych od czasu, funkcjach każdej zmiennej w celu indywidualnej analizy wpływu poszczególnych niepewności. Jako parametry konstrukcji prętowych, których wartość uznano za niepewną przyjęto natomiast: (1) współczynnik modułu Younga e , (2) grubości ścianek t oraz (3) długości wytworzonych elementów l . W ich przypadku, założono występowanie gaussowskiego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa.

Do wyznaczenia wszystkich rozpatrywanych funkcji stanu konstrukcji w zależności od zmiennych losowych zastosowano globalną wersję Metody Funkcji Odpowiedzi (MFO). Zagadnieniu jej błędów poświęcono osobny eksperyment, w którym analizowano różne aproksymacje punktów próbných wygenerowanych na podstawie kilkuset wybranych referencyjnych funkcji złożonych opisujących wielkości ekstremalne konstrukcji stalowej. Końcowym efektem było znalezienie odpowiedniego kryterium (między aproksymacją i danymi wejściowymi) doboru funkcji odpowiedzi prowadzącego do uzyskania błędów względnych *a posteriori* mniejszych niż 1%. W odróżnieniu od klasycznego zagadnienia dopasowania krzywej, w ostatnim etapie powyższego eksperymentu badano dokładność momentów probabilistycznych, gdyż to one wykorzystuje się w dalszych obliczeniach.

Zastosowaną miarą niezawodności był wskaźnik Cornella. Obliczono go zarówno według metody niezawodności pierwszego (FORM), jak i drugiego rzędu (SORM). W otrzymaniu podstawowych momentów probabilistycznych w nim występujących szczególną uwagę w niniejszej dysertacji zwrócono na metody perturbacyjne. Pozwalają one bowiem uzyskać ciągłą zależność końcowych wyników od wejściowej losowości, co w kontekście porównania niezawodności konstrukcji jest szczególnie pożądane. Zbadano zatem zbieżność numeryczną i dokładność wybranych podejść przy rosnącym rzędzie perturbacji, a weryfikację przeprowadzono używając metod całkowania bezpośredniego. Opracowano przy tym odpowiedniki dotychczas znanych technik uwzględniające ograniczenia zmiennych losowych. Wyprowadzono dodatkowo wzory na cztery pierwsze momenty probabilistyczne dowolnego rzędu.

Największe wartości decydujących wskaźników niezawodności (nieuwzględniających masy stali) spośród rozpatrywanych grup konstrukcji otrzymano dla (a) dźwigara płaskiego o siatce typu diagrid zbudowanej z trójkątów równobocznych ułożonych w kierunku podłużnym i dużym oczku, (b) prętowej powłoki walcowej powstałej z połączenia siatki lamella z prętami równoległymi do jej osi oraz (c) kopuły żebrowej. Zaproponowano ponadto sposób uwzględniania różnic w całkowitym ciężarze konstrukcji stalowej poprzez definicję znormalizowanego wskaźnika niezawodności. Pod jego względem, najbardziej efektywne spośród rozpatrywanych grup obiektów okazały się: (a) ortogonalny dźwigar płaski o dużym oczku, (b) ortogonalna prętowa powłoka walcowa oraz (c) kopuła geodezyjna.

Najważniejszym wnioskiem wynikającym z niniejszej rozprawy jest potwierdzenie tezy postawionej w zagadnieniach dotyczących stalowych konstrukcji prętowych typu diagrid. Wykazano, że zastosowanie metod perturbacyjnych odpowiednio wysokiego rzędu umożliwia uzyskanie dowolnie założonej dokładności wyznaczenia wartości charakterystyk losowych w porównaniu z rozwiązaniem probabilistycznych metod całkowania bezpośredniego. Występuje to pod warunkiem doboru funkcji odpowiedzi zapewniającej zbieżność w założonym przedziale wejściowego współczynnika wariancji – $[0,0; \alpha_{\max}]$. Zaproponowano ponadto sposób doboru rzędu metody prowadzący do uzyskania zbieżności numerycznej i założonej dokładności charakterystyk probabilistycznych.

Bartłomiej Marcin Pokusiński