

Adrian SILICKI

POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA, KATEDRA TEORII KONSTRUKCJI

Poliptymalizacja układu stref sztywności dwuwarstwowych przekryć strukturalnych

Dr inż. Adrian SILICKI

Jest adiunktem w Katedrze Teorii Konstrukcji na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej. Tematyka pracy naukowej podejmowanej przez autora dotyczy zagadnień dyskretnej polioptymalizacji stalowych konstrukcji prętowych. Studia magisterskie ukończył w roku 2001 na specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w czerwcu 2005 roku.



e-mail: adrian.silicki@ps.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono algorytm dwupoziomowej polioptymalizacji przekryć strukturalnych. Na górnym poziomie optymalizacji poszukiwany jest wektor zmiennych decyzyjnych opisujących optymalny układ stref sztywności w konstrukcji. W celu rozwiązania zadania górnego poziomu zastosowano algorytm genetyczny z dziesiętnym kodowaniem zmiennych. Na dolnym poziomie analizy, dla każdego rozwiązania analizowanego na poziomie górnym, przeprowadzane jest wymiarowanie przekrojów prętów. Ponieważ rozwiązania otrzymywane przy zastosowaniu prezentowanego algorytmu spełniają wszystkie wymagania zawarte w odpowiednich normach projektowych, może on znaleźć zastosowanie przy analizie rzeczywistych zagadnień projektowych.

Słowa kluczowe: polioptymalizacja, przekrycia strukturalne, sztywność

Polyoptimization of stiffness zones layout of double-layer spatial trusses

Abstract

In the paper an algorithm of discrete bilevel polyoptimization of spatial trusses is presented. On the upper level of optimization a vector of optimal decision variables describing stiffness zones-layout in the structure is searched for. In order to solve the upper level problem a decimal-coded genetic algorithm is used. On the lower level of analysis, for each solution analyzed on the upper level, sizing of cross-sections of truss members is performed. Since all requirements contained in adequate design codes are satisfied by solutions obtained by the use of the algorithm, it may find a practical application in solving real design problems.

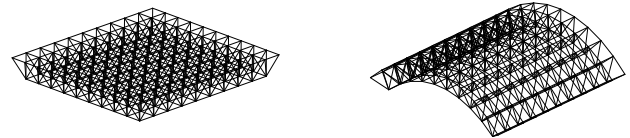
Keywords: polyoptimization, spatial trusses, stiffness

1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy przedstawiono algorytm dwupoziomowej polioptymalizacji dyskretnej służący do projektowania dwuwarstwowych przekryć strukturalnych o ortogonalnej siatce węzłów w obydwu warstwach. Konstrukcje tego typu są szeroko stosowane w obiektach, których funkcja pociąga za sobą konieczność przekrycia znacznej powierzchni bez stosowania wewnętrznych podpór, np.: hale sportowe, widowiskowe, kryte baseny, hangary, lub rozmieszczenia podpór w stosunkowo dużych odstępach, np.: pawilony wystawowe czy niektóre hale przemysłowe [1, 3]. Przykładowe przekrycia strukturalne przedstawiono na rysunku 1.

Jednym z podstawowych warunków technologicznej poprawności kratownicy jest ograniczenie liczby różnych przekrojów prętów w konstrukcji. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, iż stosowanie więcej niż pięciu różnych profili przynosi znaczne oszczędności materiału, natomiast zwiększa pracochłonność prefabrykacji obiektu [1]. Duże znaczenie ma również sposób pogrupowania prętów wykonanych z tych samych profili w strefy sztywności. Odpowiednie strefowanie konstrukcji skraca czas wykonania przekrycia i zmniejsza niebezpieczeństwo wystąpienia

w trakcie realizacji obiektu ewentualnych pomyłek w rozmieszczeniu prętów. Układ stref ma również istotny wpływ na sztywność konstrukcji.



Rys. 1. Przykładowe przekrycia strukturalne
Fig. 1. Examples of spatial trusses

2. Ogólny opis procedury optymalizacyjnej

Celem proponowanego algorytmu optymalizacyjnego jest uzyskanie takiego układu stref sztywności w przekryciu, aby konstrukcja spełniała sprecyzowane w normie do projektowania konstrukcji stalowych [10] warunki stanu granicznego nośności i stanu granicznego użytkowania przy jak najniższym koszcie konstrukcji. Na koszt konstrukcji składa się koszt materiałów, robocizny, utrzymania obiektu, koszty remontów i rozbiórki po zakończeniu okresu eksploatacji. Sposób strefowania konstrukcji ma znaczący wpływ na ciężar konstrukcji oraz na pracochłonność wykonania i te dwa składniki kosztu obiektu zostały zastosowane w analizie do oceniania poszczególnych wariantów układu stref.

W przedstawianym algorytmie zaproponowano podział przekrycia na strefy sztywności polegający na wyróżnieniu w konstrukcji grup prętów i dobraniu z przygotowanych wcześniej katalogów optymalnego układu stref w obrębie tych grup. Zmienne decyzyjne opisują położenie granic pomiędzy grupami prętów o jednakowym układzie stref oraz numer wybranego z katalogu układu stref dla danej grupy. Wygenerowane układy oparte są na rozkładzie sił wewnętrznych w prętach, zatem wszystkie rozważane warianty strefowania mają uzasadnienie wytrzymałościowe. Proces generowania katalogów strefowania sterowany jest parametrami pozwalającymi uzyskiwać podziały o różnym stopniu złożoności. Umożliwia to poszukiwanie rozwiązania będącego kompromisem pomiędzy łatwością montażu i lekkością przekrycia. Ponieważ jednym z kryteriów oceny wariantów strefowania jest masa konstrukcji, do oceny każdego analizowanego rozwiązania konieczny jest dobór przekrojów do poszczególnych prętów kratownicy. Stąd formułowane jest zadanie dwupoziomowe [9], gdzie polioptymalizacja strefowania realizowana jest na górnym poziomie, a na dolnym, dla każdego analizowanego wariantu strefowania, następuje dobór profili tak, aby uzyskać najlżejszą kratownicę, która przetranszkuje wszystkie analizowane kombinacje obciążeń.

3. Sformułowanie zadania

Celem analizy jest wyznaczenie zbioru ocen Y_{ND} i rozwiązań niezdominowanych X_{ND} oraz wskazanie w tych zbiorach odpowiednio oceny y_p i rozwiązania preferowanego x_p , gdy wektor funkcji celu $f^G(x)$ ma następującą postać

$$f^G(x) = f^G(x^G, \tilde{x}^L(x^G)) \quad (1)$$

i spełnione są ograniczenia

$$g(x^G, \tilde{x}^L(x^G)) \leq 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L(\mathbf{x}^G)) = \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\mathbf{x}^G = \{\mathbf{x}_{XG}, \mathbf{x}_{YG}, \mathbf{x}_{XD}, \mathbf{x}_{YD}, \mathbf{x}_K\} \quad (5)$$

oraz $\tilde{\mathbf{x}}^L(\mathbf{x}^G)$ jest rozwiązaniem zadania dolnego poziomu

$$\min_{\mathbf{x}^L \in \mathcal{X}^L} \{f^L(\mathbf{x}^L) \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}^L) \leq \mathbf{0}, \mathbf{h}(\mathbf{x}^L) = \mathbf{0}\} \quad (4)$$

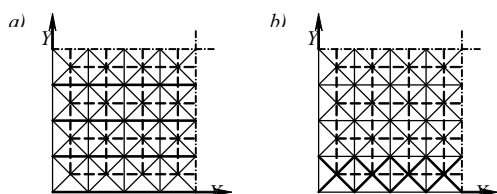
gdzie

- \mathbf{x}^G - wektor globalnych zmiennych decyzyjnych opisujących układ stref sztywności
- \mathbf{x}^L - wektor lokalnych zmiennych decyzyjnych określających przyporządkowanie przekrojów do prętów poszczególnych stref
- $f^G(\mathbf{x})$ - wektor globalnych funkcji celu
- $f^L(\mathbf{x})$ - lokalna funkcja celu

Składowe wektora globalnych zmiennych decyzyjnych \mathbf{x}^G opisują układ stref w szeregach prętów warstwowych leżących w jednej linii na kierunkach osi X i Y oraz w szeregach pasm krzyżulców ułożonych równoległe do osi X. Można wyróżnić pięć rodzajów szeregów:

- szeregi prętów warstwy górnej równoległe do osi X (szeregi XG, rys. 2a);
- szeregi prętów warstwy górnej równoległe do osi Y (szeregi YG);
- szeregi prętów warstwy dolnej równoległe do osi X (szeregi XD);
- szeregi prętów warstwy dolnej równoległe do osi Y (szeregi YD);
- szeregi pasm krzyżulców równoległe do osi X (szeregi K, rys. 2b).

Sąsiednie szeregi łączone są w grupy i dla każdej grupy dobierany jest układ stref z wcześniej przygotowanych katalogów zawierających schematy podziału szeregu na strefy sztywności. Dla każdej analizowanej konstrukcji przygotowanych jest pięć katalogów: dla warstwy górnej dla szeregów równoległych do osi X (szeregi XG) oraz osi Y (szeregi YG), analogicznie dla warstwy dolnej (szeregi XD i YD) oraz dla szeregów pasm krzyżulców (szeregi K). Tworzenie katalogów schematów strefowania przebiega w oparciu o wykresy sił w poszczególnych szeregach otrzymane dla przekrycia bez podziału na strefy. Wówczas przekroje dobierane są z katalogu profili dla każdego pręta oddzielnie na podstawie warunku nośności. Proces tworzenia katalogów zawierających schematy strefowania sterowany jest parametrem LP określającym minimalną liczbę sąsiednich prętów w szeregu należących do tej samej strefy. W przypadku krzyżulców pręty o wspólnym węźle leżącym w warstwie dolnej są łączone w grupę, dla której dobierany jest numer strefy. Oznacza to, iż wszystkie krzyżulce należące do jednej grupy są wykonywane z tego samego profilu. Wówczas parametr LP dla krzyżulców opisuje minimalną liczbę sąsiadujących grup krzyżulców, którym przypisana jest taka sama strefa.



Rys. 2. Przykładowe szeregi prętów warstwowych: a) szeregi XG (szeregi YG, XD, YD zdefiniowano analogicznie), b) szereg krzyżulców K

Fig. 2. Example of truss members rows: a) rows XG (rows YG, XD, YD are defined in a similar way), b) row of cross braces K

Zastosowany sposób tworzenia katalogów strefowania pozwala na uzyskiwanie rozwiązań dobrze odzwierciedlających przebieg wykresów sił wewnętrznych w prętach, co zapewnia lekkość konstrukcji. Natomiast określenie minimalnej liczby sąsiednich prętów wykonanych z identycznych profili poprawia technologiczność przekrycia.

Wektor zmiennych decyzyjnych \mathbf{x}^G zadania górnego poziomu optymalizacji składa się z pięciu wektorów $\mathbf{x}_{XG}, \mathbf{x}_{YG}, \mathbf{x}_{XD}, \mathbf{x}_{YD}, \mathbf{x}_K$ dotyczących odpowiednio grup szeregów XG, YG, XG, YD, oraz pasm K.

Każdy wektor \mathbf{x}_i (gdzie $i = XG, YG, XD, YD, K$) składa się ze zmiennych opisujących układ stref w danej grupie szeregów oraz zmiennych określających położenie granic pomiędzy grupami.

$$\mathbf{x}_i = \{x_{i1}^s, \dots, x_{in_i^s}^s, \dots, x_{i1}^{gr}, \dots, x_{in_i^{gr}}^{gr}, \dots, x_{iN_i^{gr}}^{gr}\} \quad (6)$$

Układ stref w obrębie jednej grupy szeregów definiowany jest poprzez podanie numeru zastosowanego schematu $x_{in_i^s}^s$ z odpowiedniego katalogu. Zakresy poszczególnych grup określone są za pomocą numeru ostatniego szeregu danej grupy $x_{in_i^{gr}}^{gr}$. N_i^s i N_i^{gr} oznaczają odpowiednio liczbę szeregów w i -tej grupie i liczbę granic pomiędzy grupami szeregów ($N_i^{gr} = N_i^s - 1$).

Liczba składowych wektora \mathbf{x}_i waha się od jednej dla najprostszego układu stref sztywności (w przypadku gdy wszystkim równoległym szeregom jednej warstwy oraz wszystkim szeregom krzyżulców przypisany jest jeden schemat strefowania) do kilkunastu, gdy planowane jest uzyskanie bardziej złożonego układu stref. Proces podziału prętów przekrycia na grupy szeregów sterowany jest parametrami LG_X, LG_Y, LG_K , określającym liczbę grup szeregów, równoległych do wspólnej osi, o jednakowych schematach strefowania. Im mniejsze wartości parametrów LG_X, LG_Y, LG_K , tym bardziej regularny układ stref i tym mniejsza liczba składowych wektora \mathbf{x}^G . Wprowadzanie zbyt małych wartości parametru prowadzi jednak do otrzymywania rozwiązań o dużym ciężarze własnym. Wartości tych parametrów powinny być określone indywidualnie dla każdej konstrukcji na podstawie analizy rozkładu sił wewnętrznych w prętach przekrycia.

Na składowe wektora \mathbf{x}^G nałożono ograniczenia wynikające ze specyfiki przyjętego sposobu opisu układu stref. Wszystkie wielkości opisywane za pomocą zastosowanych zmiennych mają za natury charakter dyskretny, stąd wprowadzono ograniczenia dyskretyzacyjne zawarte w wektorze $\mathbf{h}(\mathbf{x})$. W przypadku zmiennych dotyczących wybranego dla danej grupy szeregów numeru schematu strefowania, wartość zmiennej nie może przekroczyć liczebności odpowiedniego katalogu LK_i . Zmienne opisujące położenie granic pomiędzy grupami szeregów nie mogą przyjąć wartości większych niż ogólna liczba szeregów na danym kierunku w rozpatrywanej warstwie LS_i . Podczas analizy uwzględniane są także ograniczenia wynikające z warunku stanu granicznego użytkownika. Zgodnie z normą [10] ugięcie przekrycia nie powinno przekroczyć jednej dwustupięćdziesiątej rozpiętości.

Na górnym poziomie optymalizacji zastosowano dwa kryteria oceny poszczególnych wariantów strefowania: minimum masy konstrukcji otrzymanej po doborze przekrojów do danego układu stref i minimum różnych węzłów występujących w konstrukcji. Pierwsze kryterium wyraża dążenie do uzyskiwania lekkich konstrukcji, drugie – do otrzymywania regularnych układów stref sztywności. Pojęcie „różne węzły” odnosi się do węzłów różniących się układem przynależności zbiegających się prętów do poszczególnych stref. Obydwa kryteria wyrażone są za pomocą funkcji celu zestawionych w dwuelementowy wektor funkcji celu

$$\mathbf{f}^G(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L) = \{f_1^G(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L), f_2^G(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L)\} \quad (7)$$

gdzie

$$f_1^G(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L) - \text{masa konstrukcji}$$

$$f_2^G(\mathbf{x}^G, \tilde{\mathbf{x}}^L) - \text{liczba różnych węzłów występujących w konstrukcji}$$

Zadanie dolnego poziomu optymalizacji sformułowane jest w następujący sposób: znaleźć wektor zmiennych decyzyjnych

$\bar{x}^t(x^G)$ minimalizujący funkcję $f^L(x)$ wyrażającą masę konstrukcji, przy założeniu, że spełnione są odpowiednie ograniczenia. Ograniczenia nałożone na zmienne wynikają z ich dyskretnego charakteru, postanowień zawartych w normie do projektowania konstrukcji stalowych [10] dotyczących nośności prętów osiowo ściskanych lub rozciąganych, oraz zaleceń dotyczących technologicznej poprawności kratownic zawartych w literaturze [1, 3].

4. Metoda rozwiązania zadania

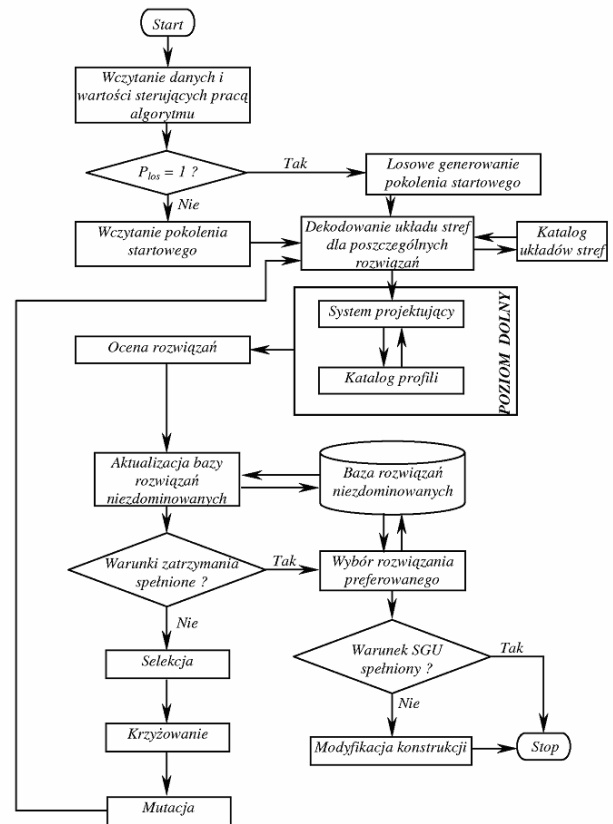
Zadanie dolnego poziomu rozwiązywane jest za pomocą procedury dobierającej przekroje do prętów kratownicy zaimplementowanej w programie TRUSS będącym modulem utworzonego w Katedrze Teorii Konstrukcji Politechniki Szczecińskiej systemu OPTYTRUSS [7]. Pozwala ona otrzymać najlepszą konstrukcję przy zadanych obciążeniach, geometrii, topologii, sposobie podparcia, katalogu przekrojów i wytrzymałości obliczeniowej stali, z której wykonana jest kratownica. Ze względu na statyczną niewyznaczalność kratownic przestrzennych wymiarowanie przekrojów prętów jest procesem iteracyjnym. W pierwszej iteracji wszystkim prętom przypisywane są najmniejsze przekroje i obliczane są siły wewnętrzne. W następnej iteracji na podstawie wyznaczonych sił przeprowadzana jest korekta doboru profili tak, aby każdemu prętowi przypisany był najlepszy profil spełniający warunek nośności (zgodnie z normą do projektowania konstrukcji stalowych [10]) i ponownie obliczane są siły wewnętrzne. Proces jest kontynuowany do momentu, gdy jeden z dwóch parametrów sterujących przyjmie wartość mniejszą od zadanej. Parametrami tymi są: procentowa zmiana ciężaru konstrukcji w dwóch kolejnych iteracjach oraz procent prętów, których dotyczyła korekta doboru przekrojów. Parametry te podawane są w pliku konfiguracyjnym programu. Do wyznaczania sił wewnętrznych stosowana jest macierzowa metoda przemieszczeń. Ponieważ odwracanie macierzy sztywności jest procesem stosunkowo długotrwałym, nawet pomimo wykorzystania w procedurze numerycznej jej pasmowego charakteru, dobór przekroju do jednego wariantu sztywności może trwać od kilku sekund do kilku minut, w zależności od liczby węzłów kratownicy.

Największe trudności przy optymalizacji podziału przekrycia na strefy sztywności wynikają z rozmiaru obszaru rozwiązań dopuszczalnych. Ze względu na dużą liczbę zmiennych decyzyjnych zastosowanie jakiegokolwiek metody opierającej się na przeglądzie sąsiedztwa analizowanego punktu byłoby nieefektywne, czy wręcz uniemożliwiłoby prowadzenie analizy. Liczba rozwiązań tworzących pierwsze sąsiedztwo danego punktu rośnie wykładniczo ze wzrostem wymiaru przestrzeni rozwiązań i przy dwudziestu zmiennych osiąga wartość kilku miliardów. W związku z tym konieczne jest zastosowanie metody pozwalającej na efektywny przegląd tak dużej przestrzeni rozwiązań. Metodą taką jest algorytm genetyczny z dziesiętnym kodowaniem zmiennych, szczególnie przydatny w przypadku zadań o dużej liczbie zmiennych, gdzie zastosowanie algorytmu z kodowaniem dwójkowym prowadzi do powstawania bardzo długich łańcuchów reprezentujących poszczególne osobniki i tym samym do zmniejszenia efektywności analizy [2].

Podstawowym elementem algorytmu rozwiązywania zadania górnego poziomu są procedury związane z przyjętą metodą optymalizacji. Poza tym algorytm zawiera dwa dodatkowe moduły. Zadaniem pierwszego jest wybór rozwiązania preferowanego. Drugi moduł zawiera procedury pozwalające na modyfikację rozwiązań, które nie spełniają warunku sztywności. Schemat algorytmu polioptymalizacji układu stref w konstrukcji przedstawiono na rysunku 3.

Przed uruchomieniem algorytmu należy przygotować katalogi układów stref dla poszczególnych rodzajów szeregów, katalogi profili oraz plik konfiguracyjny i plik danych do programu TRUSS. W pliku danych zdefiniowana jest geometria i topologia przekrycia; sposób podparcia; wytrzymałość obliczeniowa stali, z której ma być wykonana konstrukcja oraz charakterystyczne wartości obciążeń i ich kombinacje wraz ze współczynnikami bezpieczeń-

stwa i współczynnikami jednoczesności występowania. Plik konfiguracyjny określa warunki zatrzymania procesu doboru przekrojów oraz sposób przedstawienia wyników.



Rys. 3. Schemat algorytmu polioptymalizacji podziału przekrycia na strefy sztywności
Fig. 3. Diagram of polioptimization algorithm of stiffness zones layout in spatial trusses

Praca algorytmu rozpoczyna się od wczytania wartości danych wejściowych dotyczących generowanych układów stref sztywności i parametrów sterujących działaniem algorytmu genetycznego. Następnie generowane jest pokolenie startowe, którego osobniki podlegają ocenie. Ponieważ pierwsza funkcja celu dotyczy ciężaru konstrukcji niezbędny jest jednak wcześniejszy dobór przekrojów do poszczególnych stref sztywności. W tym celu rozwiązywane jest zadanie dolnego poziomu, przy użyciu programu TRUSS. Na jakość końcowego efektu procesu wymiarowania przekrojów prętów zasadniczy wpływ ma struktura przyjętego katalogu profili. W celu uzyskania najlepszej konstrukcji system musi mieć możliwość uzyskiwania jak najwyższych poziomów wykorzystania nośności poszczególnych prętów. Stąd zalecane jest stosowanie katalogów o stosunkowo dużej liczbie, dobrze reprezentujących asortyment profili dostępnych na rynku.

Ze względu na konieczność kilkakrotnego odwracania macierzy sztywności kratownicy dobór przekrojów do poszczególnych stref jest najbardziej długotrwałym procesem w całym algorytmie. Obliczenie wartości drugiej funkcji celu jest mniej czasochłonne i polega na wyznaczeniu liczby różnych węzłów w konstrukcji.

Po ocenie rozwiązań zawartych w pokoleniu startowym rozpoczyna się selekcja osobników do następnego pokolenia, a następnie krzyżowanie i mutacja. W celu wybrania najlepszych osobników zastosowano metodę turniejową dla polioptymalizacji [2, 5]. Dla każdego osobnika populacji losowany jest inny osobnik, a następnie są one ze sobą porównywane. Przy takim postępowaniu każdy osobnik jest analizowany w procesie selekcji i nie ma niebezpieczeństwa utracenia dobrych rozwiązań.

Do krzyżowania osobników wykorzystano metodę krzyżowania mieszanego BLX- α [2]. W metodzie tej dla każdej pary zmiennych generowany jest przedział, z którego losowane są wartości zmien-

nych dwóch potomków. Wielkość generowanego przedziału zależy od różnicy wartości zmiennych i współczynnika sterującego α . W prezentowanym algorytmie zastosowano współczynnik $\alpha = 0,5$, przy czym metoda została zmodyfikowana tak, aby otrzymywane rozwiązania zawsze spełniały ograniczenia kostkowe. W przypadku, gdy pierwotnie wyznaczony przedział, z którego losowane są wartości zmiennych opisujących potomków, wykracza poza ograniczenia brzegowe, wartości zmiennych losowane są z iloczynu przedziału ustalonego za pomocą pierwotnej metody BLX- α i obszaru rozwiązań dopuszczalnych.

Mutacja jest realizowana poprzez zamianę wartości losowo wybranej zmiennej na losową wartość spełniającą ograniczenia kostkowe i dyskretyzacyjne.

Nowe pokolenie jest oceniane, przy czym wartości funkcji celu obliczane są tylko dla osobników, które powstały na skutek krzyżowania. Dla osobników, które przeszły z poprzedniego pokolenia w niezmięnionej postaci, wartości funkcji celu są przepisywane. Po ocenie pokolenia opisane wyżej czynności są powtarzane. Algorytm genetyczny kończy pracę po zadanej liczbie pokoleń. Wszystkie wyniki uzyskane w trakcie jego działania są zapisywane, także możliwe jest późniejsze prześledzenie przebiegu analizy.

Wynikiem pracy algorytmu jest zbiór rozwiązań niezdominowanych. Rozwiązania te gromadzone są w bazie rozwiązań niezdominowanych, która jest na bieżąco uaktualniana podczas pracy algorytmu.

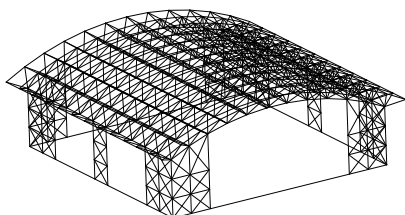
Ze zbioru ocen niezdominowanych wybierana jest, za pomocą metody funkcji dystansowej [6], ocena preferowana, a następnie znajdowany jest jej przeciwobraz – rozwiązanie preferowane. Jako punkt odniesienia przyjmowana jest ocena idealna.

Algorytm rozwiązania zadania górnego poziomu analizy optymalizacyjnej został zaimplementowany w języku Visual Basic jako makroinstrukcja w arkuszu kalkulacyjnym Excel.

Konstrukcje otrzymane za pomocą przedstawionego algorytmu na ogół spełniają warunek stanu granicznego użytkownika. Wynika to z faktu, iż wprowadzenie podziału na strefy sztywności sprawia, że w wielu prętach naprężenia, a tym samym odkształcenia, utrzymywane są na stosunkowo niskim poziomie [8]. Poza tym ograniczenie ugięcia jest zawarte w wektorze ograniczeń przez co ma wpływ na przebieg selekcji osobników do następnego pokolenia. Nie mniej jednak w niektórych przypadkach rozwiązanie wskazane jako preferowane może nie spełniać warunku sztywności. Wówczas konieczna jest modyfikacja konstrukcji. Jest ona przeprowadzana w oparciu o iteracyjną procedurę przedstawioną w pracy [4]. Polega ona na zwiększaniu przekrojów prętów kratownicy proporcjonalnie do ich wpływu na ugięcie.

5. Polioptymalizacja układu stref sztywności przekrycia hali sportowej

Objektem analizy jest przekrycie hali sportowej przedstawionej na rysunku 4 o wymiarach w planie 42×42 m.

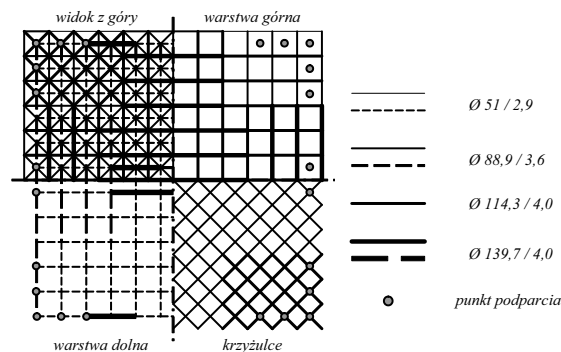


Rys. 4. Analizowana konstrukcja
Fig. 4. The structure under analysis

Zadanie polioptymalizacji układu stref sztywności zostało sformułowane w sposób przedstawiony w punkcie 3, przy założeniu, że w konstrukcji występują najwyżej cztery różne przekroje

prętów, co najmniej dwa sąsiadujące ze sobą w szeregu pręty mają ten sam przekrój, w szeregach prętów warstwowych i krzyżulców występują najwyżej trzy różne schematy strefowania. Przyjęto, że liczebność populacji wynosi 100 osobników; prawdopodobieństwo krzyżowania – 0,5; prawdopodobieństwo mutacji – 0,005. Czas działania algorytmu ustalano na 150 pokoleń. Pierwsze pokolenie zostało wygenerowane losowo.

Stosując opisaną wcześniej procedurę uzyskano rozwiązanie preferowane przedstawione na rysunku 5. Masa konstrukcji wynosi $19,08 \text{ kg/m}^2$ przekrywanej powierzchni, w konstrukcji występują 63 różne typy węzłów. Preferowany układ stref sztywności przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Rozwiązanie preferowane
Fig. 5. The preferred solution

6. Wnioski

1. W przypadku zagadnień optymalizacji obiektów technicznych opisanych za pomocą dużej liczby zmiennych, często możliwe jest wprowadzenie podziału na zmienne lokalne i globalne. Wówczas wskazane jest formułowanie zadań wielopoziomowych. Wiąże się to z koniecznością rozwiązania większej liczby zadań, lecz są one mniej skomplikowane, dzięki czemu analiza jest efektywniejsza.
2. Zastosowanie kryteriów minimum masy konstrukcji i minimum liczby różnych węzłów przy optymalnym projektowaniu stref sztywności zapewnia uzyskanie rozwiązania stosunkowo lekkiego i jednocześnie odznaczającego się regularnym rozmieszczeniem stref, co ma znaczący wpływ na technologiczność konstrukcji.
3. Zastosowany sposób generowania układów stref za pomocą zestawionych w katalogach schematów strefowania, opartych o rozkład sił w prętach przekrycia, pozwala na uzyskanie dość szerokiej gamy układów stref dla danej konstrukcji. Umożliwia to trafniejszy podział konstrukcji na strefy sztywności niż ma to miejsce w przypadku zadań, w których wybierany jest jeden z kilku arbitralnie zaproponowanych wariantów strefowania. Jednocześnie liczba zmiennych jest wielokrotnie mniejsza niż dla klasycznego sformułowania, gdzie zmienne opisują przynależność poszczególnych prętów do stref. Dzięki temu obszar poszukiwań rozwiązań niezdominowanych jest znacznie mniejszy i wyniki analizy otrzymywane są w akceptowalnym czasie.
4. Zastosowanie do procedury selekcji metody turniejowej dla polioptymalizacji, w której wyżej oceniane są rozwiązania spełniające ograniczenia (w tym przypadku ograniczenie dotyczące ugięcia), powoduje, iż otrzymywane układy stref zwykle zapewniają spełnienie warunku stanu granicznego użytkownika.
5. Podczas testowania algorytmu zaobserwowano występującą w niektórych przypadkach tendencję ocen populacji do zbiegania się w pobliżu środkowej części brzoгу niezdominowanego. Towarzyszy temu zmniejszanie różnorodności populacji w kolejnych iteracjach, przez co mechanizm przeszukiwania przestrzeni rozwiązań opiera się głównie na mutacji. Ogranicza to zdolność algorytmu do wyznaczenia pełnego zbioru niezdomi-

nowanego, nie powoduje jednak znacznego pogorszenia jakości rozwiązania preferowanego.

Praca została częściowo sfinansowana przez Komitet Badań Naukowych poprzez grant nr 5 T07E 056 25.

7. Literatura

- [1] Bródka J. (red.): Przekrycia strukturalne. Arkady, Warszawa 1985.
- [2] Deb K.: Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. Wiley, Chichester 2003.
- [3] Makowski Z. S. (ed.): Analysis, Design and Construction of Double-Layer Grids. Elsevier Applied Science Publishers 1981.
- [4] Makris P. A., Provatidis C. G.: Weight minimization of displacement-constrained truss structures using a strain energy criterion. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 191, 2002, p. 2159–2177.
- [5] Osyczka A.: Evolutionary Algorithms for Single and Multicriteria Optimization. Springer-Verlag, Heidelberg 2002.
- [6] Paczkowski W. M.: Wybrane problemy dyskretnej optymalizacji ewolucyjnej. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 544, Szczecin 1999.
- [7] Paczkowski W. M., Drzazga M. F.: System Optytruss do polioptymalizacji przekryć strukturalnych. (w:) Tarnowski W., Kiczowski T. (red.): Polioptymalizacja i CAD, Mielno 25–28 czerwca 2002, WNT, Warszawa, s. 155–164.
- [8] Silicki A.: Polioptymalizacja przekryć strukturalnych z uwzględnieniem stanu granicznego użytkowania. (w:) Garbalińska H. (red.): Prace doktorantów kierunku budownictwo, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2004, s. 121–140.
- [9] Tuy H.: Hierarchical optimization. (in:) Pardalos P. M., Resende M. G. C. (eds.): Handbook of Applied Optimization. Oxford University Press, Oxford 2002, pp. 502–513.
- [10] PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Organizacja i Akredytacja Laboratoriów

Cel studiów

Celem studiów jest pogłębienie wiedzy w zakresie systemu jakości laboratoriów wzorcujących, problematyki zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego, walidacji metod pomiarowych, metodyki tworzenia budżetów niepewności i opracowania wyników badań zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz przygotowanie słuchaczy do samodzielnej pracy w zakresie organizowania i prowadzenia laboratorium akredytowanego. Przedstawione zostaną podstawy automatyzacji pomiarów i organizacji systemów pomiarowych. Problemy analizowane będą na przykładach, z uwzględnieniem niezbędnych podstaw teoretycznych oraz aktualnych przepisów.

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Warunki przyjęcia na studia:

1. Na studia mogą być przyjęte osoby posiadające dyplom magistra lub inżyniera, posiadające podstawową wiedzę z zakresu wybranych studiów.
2. Warunkiem uruchomienia studiów jest przyjęcie odpowiedniej liczby Kandydatów na podstawie złożonych dokumentów.
3. Dokumenty składane przez Kandydatów:
 - Kwestionariusz Osobowy – Karta Zgłoszenia (do pobrania ze strony internetowej). Przyjmowane na bieżąco: e-mailem, pocztą lub osobiście.
 - Kopia/odpis dyplomu ukończenia studiów wyższych.
4. Kandydaci odbywają rozmowę kwalifikacyjną. Termin ustalony i podany zostanie po skompletowaniu odpowiedniej liczby Kandydatów.
5. Po spełnieniu warunków Kandydaci wnoszą opłatę zgodnie z zawartą umową w wysokości 3 800 złotych za cały okres studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, http://www.wega.elekt.polsl.gliwice.pl

Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS