

Adam DŁUGOSZ, Waclaw KUŚ

Katedra Wytrzymałości Materiałów i Metod Komputerowych Mechaniki,
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

OPTIMALIZACJA EWOLUCYJNA W ZAGADNIENIACH TERMOMECHANICZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono zastosowanie obliczeń ewolucyjnych w optymalizacji i identyfikacji w układach termomechanicznych, tj. układów poddanych jednocześnie obciążeniom mechanicznym i termicznym. Do wyznaczenia wartości funkcjonu dla każdego chromosomu zastosowano metodę elementów brzegowych. Jako kryterium optymalizacji przyjęto minimalizację przemieszczeń w wybranych punktach rozpatrywanego układu. Identyfikacja przeprowadzona została na podstawie informacji o wartości przemieszczeń i temperatury obliczonych w punktach brzegowych modelu. W celu ograniczenia liczby zmiennych projektowych zastosowano krzywe parametryczne. Ponadto w pracy zamieszczono przykłady numeryczne optymalizacji i identyfikacji.

EVOLUTIONARY OPTIMIZATION IN THERMOMECHANICAL PROBLEMS

Summary. The paper deals with the application of evolutionary algorithms and the boundary element method (BEM) in optimization and identification of elastic structures under thermomechanical loading. The optimum criterion is to minimize the displacement on the selected part of the boundary. Identification of voids having information about measured displacement and temperature in boundary sensor points was also considered. Several tests and practical examples of optimization and identification were presented.

1. Wstęp

W pracy przedstawiono połączenie algorytmów ewolucyjnych i metody elementów brzegowych (MEB) [3] do optymalizacji układów termomechanicznych oraz identyfikacji w ww. układach. Przyjęte zostały założenia niesprężonej termosprężystości, co oznacza, że równanie przewodnictwa cieplnego nie zależy od równań przemieszczeniowych teorii sprężystości. Do rozwiązania obydwu problemów zastosowano algorytm ewolucyjny, w postaci zmodyfikowanego algorytmu genetycznego, operującego na zmiennych wyrażonych jako liczby rzeczywiste.

Algorytmy ewolucyjne [2,6] są algorytmami optymalizacji globalnej, opartymi na biologicznym zjawisku ewolucji gatunków. Największą ich zaletą jest duże prawdopodobieństwo znalezienia się w pobliżu optimum globalnego funkcji wielomodalnej, natomiast największą wadą jest pracochłonność obliczeń (liczba obliczeń wartości funkcji przystosowania). Algorytmy ewolucyjne w sposób stochastyczny przeszukują przestrzeń dopuszczalnych rozwiązań w poszukiwaniu optimum globalnego. Operują one na osobnikach, które składają się z chromosomów. Zazwyczaj przyjmuje się, że osobnik zbudowany jest z pojedynczego chromosomu. Każdy chromosom zawiera pewną liczbę genów. Informacja o wartościach zmiennych projektowych zadania optymalizacji zakodowana jest w genach chromosomu. Informacja o przystosowaniu osobnika do środowiska określa funkcja przystosowania, która musi być obliczana dla wszystkich osobników podczas procesu optymalizacji.

Ograniczenia na zmienność genów osobnika jak również związki pomiędzy zawartością chromosomu a wartością funkcji przystosowania nazywamy środowiskiem. Algorytmy ewolucyjne działają na populacji osobników, tak więc w każdej chwili pracy algorytmu mamy do czynienia z wieloma rozwiązaniami zadania. Za zmianę genów osobników odpowiadają operatory genetyczne, które w większości powstały z analogicznych zjawisk zachodzących podczas biologicznej ewolucji, np. operator mutacji czy krzyżowania podobne do mutacji części genów osobnika czy też krzyżowania się dwu osobników.

W celu ograniczenia liczby zmiennych projektowych zastosowano krzywe parametryczne typu NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline). Główną zaletą stosowania tego typu krzywych jest możliwość sterowania kształtem za pomocą kilku punktów kontrolnych oraz możliwość lokalnych zmian geometrii bez wpływu na pozostałą część układu.

2. Kryteria optymalizacji

Jako kryterium optymalizacji przyjęto minimalizację przemieszczeń na brzegu ciała. Funkcjonał ma postać:

$$J = \int_{\Gamma} \left(\frac{u}{u_0} \right)^{2n} d\Gamma, \quad (2.1)$$

gdzie u jest polem przemieszczeń, u_0 jest przemieszczeniem odniesienia, n jest liczbą naturalną.

W przypadku identyfikacji zaproponowano następujący funkcyjonał:

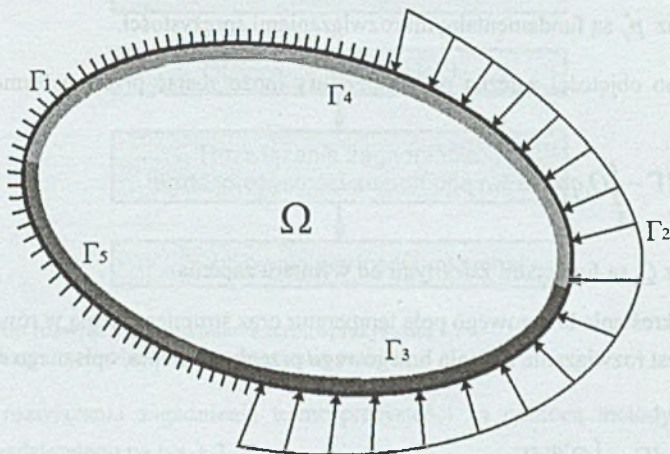
$$F = \delta \sum_{k=1}^M (u^k - \hat{u}^k)^2 + \eta \sum_{l=1}^N (T^l - \hat{T}^l)^2, \quad (2.2)$$

gdzie u^k oraz T^l są odpowiednio wartościami przemieszczeń i temperatur w punktach pomiarowych k i l dla dowolnego położenia i kształtu brzegu oraz pewnych warunków

brzegowych, \hat{u}^k oraz \hat{T}^l są wartościami przemieszczeń i temperatury w punktach pomiarowych k i l , pochodzącymi z eksperymentu (należy nadmienić, że zarówno wartości eksperymentalne jak i teoretyczne otrzymywane są w wyniku symulacji numerycznej), δ i η są odpowiednimi wagami.

3. Kryteria optymalizacji

Rozważano ciało dwuwymiarowe zajmujące obszar Ω , ograniczone brzegiem Γ (rys.3.1).



Rys. 3.1. Ciało sprężyste obciążone termomechanicznie
Fig. 3.1. Elastic body under thermomechanical loading

Na brzegu Γ zadano warunki brzegowe w postaci:

$$u(x) = u^0(x) \quad x \in \Gamma_1 \quad (3.1)$$

$$p(x) = p^0(x) \quad x \in \Gamma_2 \quad (3.2)$$

$$T(x) = T^0(x) \quad x \in \Gamma_3 \quad (3.3)$$

$$q(x) = q^0(x) \quad x \in \Gamma_4 \quad (3.4)$$

$$q(x) = \alpha_l [T - T_{ol}] \quad x \in \Gamma_5, \quad (3.5)$$

gdzie α_l jest współczynnikiem konwekcji. Przemieszczenia $u^0(x)$ są zadane na części brzegu Γ_1 , siły powierzchniowe $p^0(x)$ na Γ_2 . Na fragmentach brzegu Γ_3 , Γ_4 oraz Γ_5 zadane są termiczne warunki brzegowe: temperatura $T^0(x)$, strumień ciepła $q^0(x)$ oraz konwekcja $\alpha [T - T_{ol}]$.

W celu określenia wartości funkcji przystosowania (2.1) (2.2) konieczne jest rozwiązanie zadania brzegowego termosprężystości. Przyjęte zostały założenia niesprężonej termosprężystości, co oznacza, że równanie przewodnictwa cieplnego nie zależy od równań przemieszczeniowych teorii sprężystości.

Brzegowe równanie całkowe dla rozważanego problemu ma postać:

$$c_{ij}u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Omega} u_{ij,j}^* \gamma T d\Omega, \quad (3.6)$$

gdzie u_{ij}^* oraz p_{ij}^* są fundamentalnymi rozwiązaniami sprężystości.

Całka po objętości zależna od temperatury może zostać przetransformowana do całki brzegowej:

$$B_i = \int_{\Gamma} P_i T d\Gamma - \int_{\Gamma} Q_i q d\Gamma, \quad (3.7)$$

gdzie P_i oraz Q_i są funkcjami zależnymi od wymiaru zadania.

W celu określenia brzegowego pola temperatur oraz strumieni ciepła w równaniu (3.7) konieczne jest rozwiązanie zadania brzegowego przepływu ciepła, opisanego równaniem brzegowym:

$$cT = \int_{\Gamma} T^* q d\Gamma - \int_{\Gamma} Q^* T d\Gamma, \quad (3.8)$$

gdzie T^* oraz Q^* są rozwiązaniami fundamentalnymi dla przepływu ciepła.

Brzegowe równania całkowe (3.6) i (3.8) po dyskretyzacji przyjmują postać układu równań algebraicznych, które można zapisać w następującej postaci macierzowej:

$$S T = R q \quad (3.9)$$

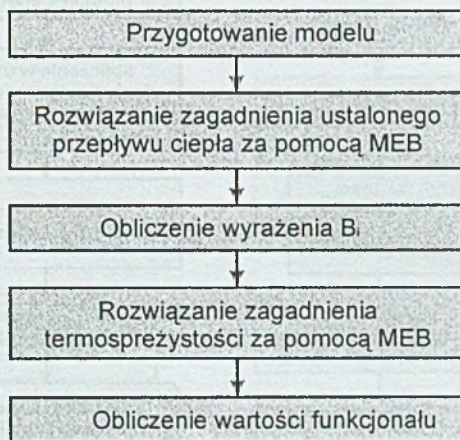
$$H u = G p + B, \quad (3.10)$$

gdzie macierze kolumnowe T , q , u i p zawierają odpowiednio węzłowe wartości temperatur, strumieni, przemieszczeń brzegowych i sił brzegowych, natomiast macierz kolumnowa B zależy od temperatury i strumienia na brzegu układu. Elementy macierzy S , R , H i G wyznacza się obliczając odpowiednie całki brzegowe. Uwzględniając warunki brzegowe po przekształceniach równania można zapisać w postaci macierzowej:

$$K Y = Q \quad (3.11)$$

$$A X = F, \quad (3.12)$$

gdzie macierz kolumnowa Y zawiera niewiadome wartości węzłowe temperatur i strumieni, natomiast X niewiadome wartości sił węzłowych i przemieszczeń na brzegu. Macierz kwadratowa K utworzona jest z elementów macierzy S i R , natomiast macierz A z elementów macierzy H i G



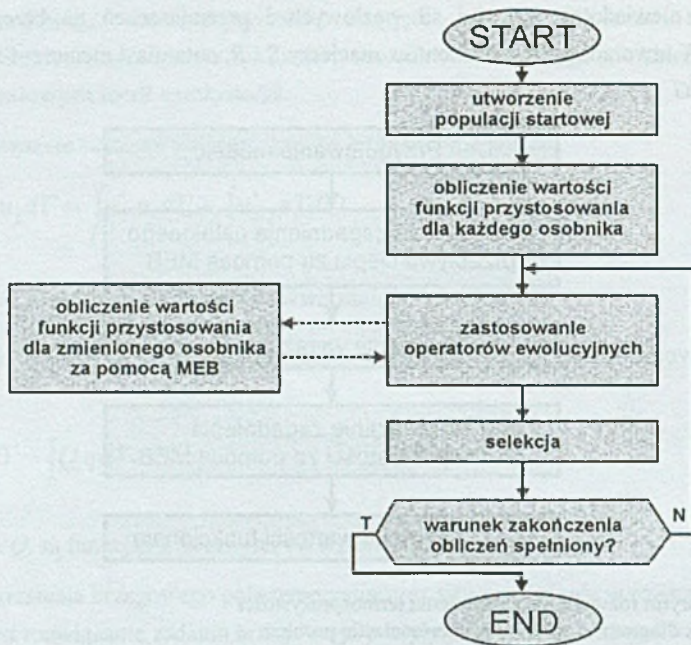
Rys. 3.2. Algorytm rozwiązania zagadnienia termosprężystości
Fig. 3.2. Block diagram of solution of thermoclastic problem

Algorytm rozwiązania zagadnienia termosprężystości za pomocą metody elementów brzegowych przedstawiono na rys.3.2

4. Algorytmy ewolucyjne

Schemat blokowy sekwencyjnego algorytmu ewolucyjnego przedstawiono na rys. 4.1. W pierwszej kolejności utworzona zostaje populacja startowa, zawierająca zazwyczaj losowe osobniki. Następnie dla każdego osobnika obliczana jest wartość funkcji przystosowania. W kolejnym kroku stosowane są operatory ewolucyjne, zmieniające wartości genów osobników, dla każdego zmienionego osobnika i ponownie obliczana jest wartość funkcji przystosowania. Po selekcji otrzymujemy populację potomną. Wykonujemy powyższe działania iteracyjnie do momentu spełnienia warunku zakończenia obliczeń. Warunek zakończenia obliczeń jest zazwyczaj sformułowany jako maksymalna liczba iteracji bądź oczekiwana wartość funkcji przystosowania (w zagadnieniach identyfikacji).

Rozproszone algorytmy ewolucyjne [1,7] bazują na teorii algorytmów koewolucyjnych. Proces ewolucji przebiega szybciej, jeśli ewoluują odosobnione podpopulacje o małej liczbie osobników wymienianych pomiędzy sobą. W algorytmie tym populację osobników dzieli się na kilka lub kilkanaście podpopulacji. Każda podpopulacja ewoluuje oddzielnie i tylko co pewien czas następuje faza migracji, podczas której część osobników wymieniana jest pomiędzy podpopulacjami.



Rys. 4.1. Schemat blokowy algorytmu ewolucyjnego
 Fig. 4.1. Block diagram of evolutionary algorithm

Na rys. 4.3 przedstawiono schematycznie rozproszony algorytm ewolucyjny z m podpopulacjami. Rysunek 4.2 przedstawia schemat blokowy rozproszonego algorytmu ewolucyjnego dla pojedynczej podpopulacji.

5. Modelowanie geometrii układu

Do modelowania geometrii optymalizowanego układu oraz do modelowania warunków brzegowych użyto krzywych Beziera. Krzywe te są szczególnym przypadkiem krzywych NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline). Równanie krzywej Beziera stopnia n wyraża się wzorem:

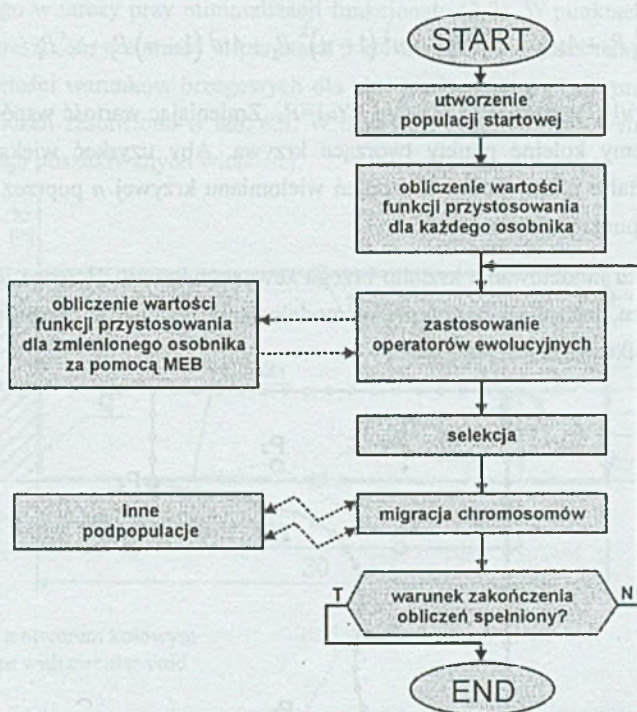
$$C(u) = \sum_{i=0}^n B_{i,n}(u) P_i, \quad (5.1)$$

gdzie u jest współrzędną, która zmienia się w granicach $\langle 0,1 \rangle$,

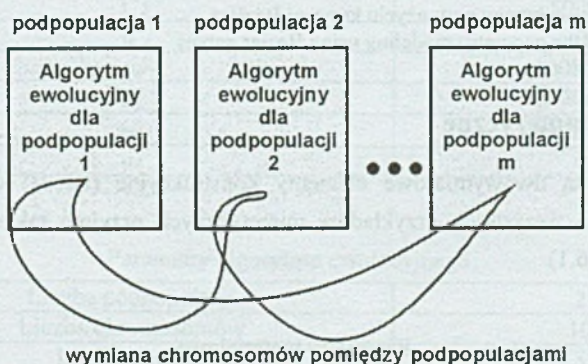
P_i są punktami kontrolnymi krzywej

$B_{i,n}$ jest wielomianem w postaci:

$$B_{i,n}(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-1} \quad (5.2)$$



Rys. 4.2. Schemat blokowy rozproszonego algorytmu ewolucyjnego
 Fig. 4.2. Block diagram of distributed evolutionary algorithm



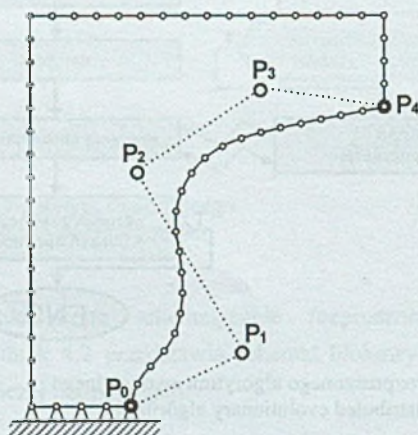
Rys. 4.3. Wymiana chromosomów pomiędzy podpopulacjami
 Fig. 4.3. Communications between subpopulations

Modelowanie przeprowadza się w dwóch etapach. W pierwszym brzeg jest modelowany za pomocą krzywej lub krzywych Beziera, w następnym dokonuje się ich dyskretyzacji na elementy brzegowe. Przykładową krzywą Beziera 4 stopnia opisuje równanie (5.3), natomiast jej zastosowanie do modelowania fragmentu brzegu konstrukcji pokazuje rys. 5.1.

$$C(u) = (1-u)^4 P_0 + 4u(1-u)^3 P_1 + 6u^2(1-u)^2 P_2 + 4u^3(1-u) P_3 + u^4 P_4 \quad (5.3)$$

Dla $u=0$ $C(u)=P_0$, natomiast dla $u=1$ $C(u)=P_4$. Zmieniając wartość współrzędnej u od 0 do 1 otrzymujemy kolejne punkty tworzące krzywą. Aby uzyskać większe możliwości modyfikacji kształtu należy podnieść stopień wielomianu krzywej n poprzez wprowadzenie większej liczby punktów kontrolnych.

W przypadku modelowania kształtu brzegu zewnętrznego współrzędna u jest wektorem dwuwymiarowym, natomiast w przypadku modelowania warunków brzegowych w postaci temperatury u traktowane jest jako skalar.



Rys. 5.1. Modelowanie brzegu przy użyciu krzywej Beziera
Fig. 5.1. Method of the geometry modeling using Bezier curves

6. Przykłady numeryczne

Analizowane są dwuwymiarowe elementy konstrukcyjne (tarcze) w płaskim stanie odkształcenia. Dla wszystkich przykładów numerycznych przyjęto takie same parametry materiałowe (tab. 6.1)

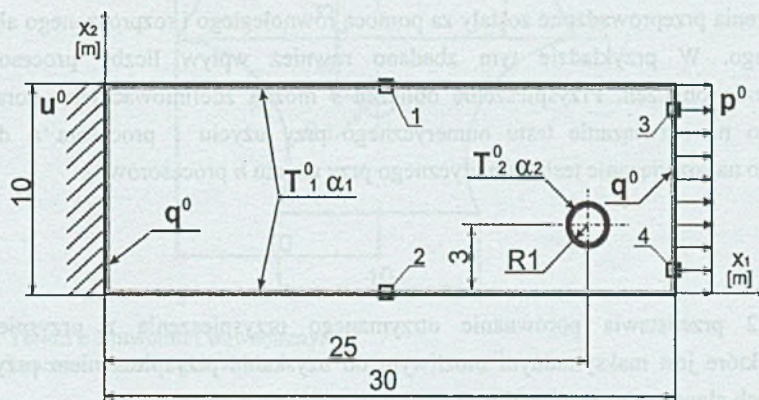
Tabela 6.1

Parametry materiałowe

Moduł sprężystości poprzecznej	80GPa
Współczynnik Poissona	0.23
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	$12.5 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$

Przykład 1

Rozpatrywana jest tarcza prostokątna z otworem kołowym przedstawiona na rys. 6.1. Zadanie identyfikacji polega na znalezieniu położenia (współrzędne x_1 i x_2) i promienia (R) otworu kołowego w tarczy przy minimalizacji funkcjonau (2.2). W punktach 1 i 2 znane są wartości przemieszczeń, natomiast w punktach 3 i 4 znane są wartości temperatury. Tabela 6.2 zawiera wartości warunków brzegowych dla układu. Parametry algorytmu ewolucyjnego przyjęte do obliczeń zestawiono w tab. 6.3. W tabeli 6.4 zamieszczono wyniki oraz średnią błądę względnę poszukiwanych wielkości.



Rys. 6.1. Tarcza z otworem kołowym
Fig. 6.1. Structure with circular void

Tabela 6.2

Wartości warunków brzegowych dla układu

T_1^0	20°C
T_2^0	500°C
q^0	0
p_0	100kN/m
α_1	20W/m ² K
α_2	1000W/m ² K
u_0	0

Tabela 6.3

Parametry algorytmu ewolucyjnego

Liczba podpopulacji	2
Liczba chromosomów	10
Liczba genów.	3
Ograniczenie na gen 1 (współrzędna x_1)	0,5 ÷ 29,5
Ograniczenie na gen 1 (współrzędna x_2)	0,5 ÷ 9,5
Ograniczenie na gen 1 (promień otworu)	0,5 ÷ 3,0

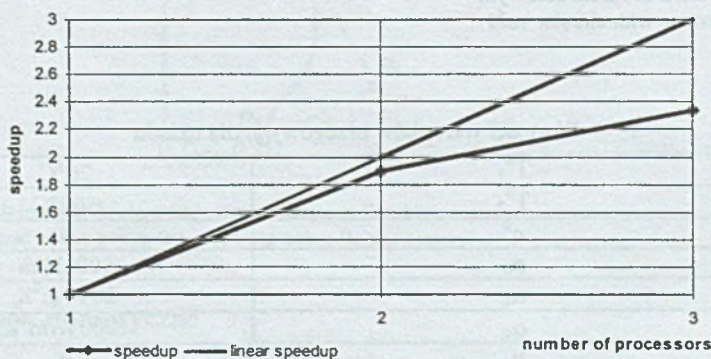
Wyniki testów numerycznych

współrzędna x_1	25.28978
współrzędna x_2	2.989090
promień	0.997610
wartość funkcji przystosowania	0.000030
błąd dla współrzędnej x_1	1,16%
błąd dla współrzędnej x_2	0,36%
błąd dla promienia	0,24%

Obliczenia przeprowadzone zostały za pomocą równoległego i rozproszonego algorytmu ewolucyjnego. W przykładzie tym zbadano również wpływ liczby procesorów na przyspieszenie obliczeń. Przyspieszenie obliczeń s można zdefiniować jako iloraz czasu potrzebnego na rozwiązanie testu numerycznego przy użyciu 1 procesora t_1 do czasu potrzebnego na rozwiązanie testu numerycznego przy użyciu n procesorów t_n .

$$s = \frac{t_1}{t_n} \quad (6.1)$$

Rysunek 6.2 przedstawia porównanie otrzymanego przyspieszenia z przyspieszeniem liniowym, które jest maksymalnym możliwym do uzyskania przyspieszeniem przy użyciu równoległych algorytmów ewolucyjnych.

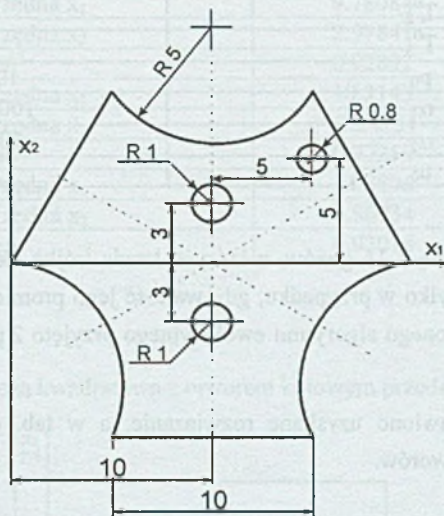


Rys. 6.2. Zależność przyspieszenia obliczeń od liczby procesorów
Fig. 6.2. The speedup of improved distributed evolutionary algorithm

Przykład 2

Rozpatrywana jest tarcza z trzema otworami kołowymi przedstawiona na rys. 6.3. W zadaniu identyfikacji poszukiwane są położenia (*współrzedne* x_1 i x_2), promień (R) oraz liczba otworów (z przedziału 1 do 5) w tarczy. Tak jak w poprzednim przykładzie do obliczeń

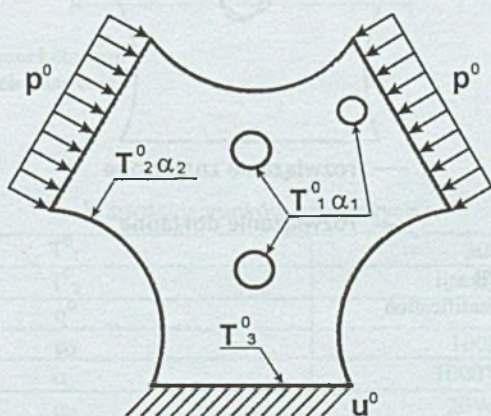
przyjęto funkcjonal identyfikacyjny (2.2). Zakres dopuszczalnych zmian współrzędnych środków otworów wyznaczają wymiary tarczy, natomiast zakres zmian wartości promienia założono w przedziale $[0.5 \div 2.0]$.



Rys. 6.3. Tarcza z 3 otworami wewnętrznymi
Fig. 6.3. Structure with circular voids

Aby rozwiązanie miało sens fizyczny, należy założyć, że brzegi wewnętrzne znajdują się wewnątrz ciała. Zapewnione zostało to poprzez wprowadzenie wewnętrznej funkcji kary, która eliminuje z populacji chromosomy reprezentujące zadania niedopuszczalne.

Na rys. 6.4 przedstawiono warunki brzegowe dla układu, natomiast w tabeli 6.5 ich wartości.



Rys. 6.4. Warunki brzegowe dla układu
Fig. 6.4. Boundary conditions

Wartości warunków brzegowych dla układu

T_1^0	100°C
T_2^0	20°C
T_3^0	0°C
p_0	100kN/m
α_1	1000W/m ² K
α_2	20W/m ² K
u_0	0

Chromosom składa się z 15 genów, z których każda trójka określa parametry otworu. Otwór generowany jest tylko w przypadku, gdy wartość jego promienia jest większa od 0.5. Do obliczeń dla rozproszonego algorytmu ewolucyjnego przyjęto 2 podpopulacje, składające się z 10 chromosomów.

Na rys. 6.5 przedstawiono uzyskane rozwiązanie, a w tab. 6.6 otrzymane wartości parametrów każdego z otworów.



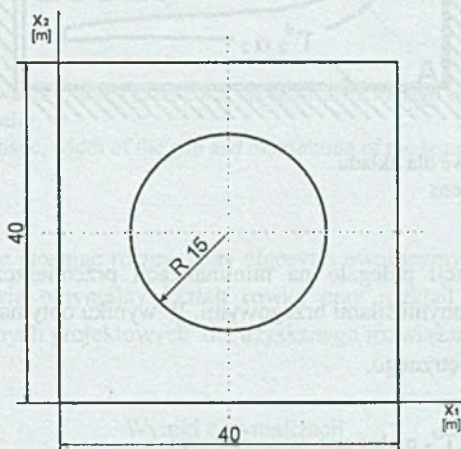
Rys. 6.5. Rezultat identyfikacji
Fig. 6.5. Results of the identification

Otrzymane wyniki zagadnienia identyfikacji

Otwór 1	współrzędna x_1	9.78084	2.19%
	współrzędna x_2	2.97841	0.72%
	promień	0.92832	7.17%
Otwór 2	współrzędna x_1	10.3143	3.14%
	współrzędna x_2	-3.24751	8.25%
	promień	0.77259	22.74%
Otwór 3	współrzędna x_1	14.8896	0.74%
	współrzędna x_2	4.86734	2.65%
	promień	0.93014	16.27%

Przykład 3

Rozpatrywana jest tarcza kwadratowa z otworem kołowym przedstawiona na rys. 6.6.



Rys. 6.6. Tarcza z otworem kołowym

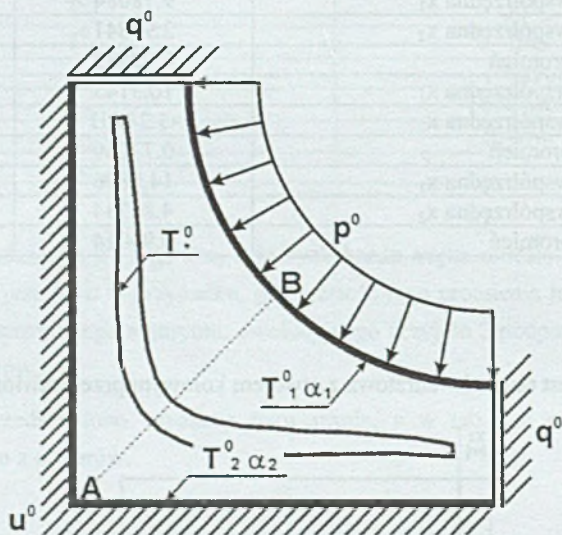
Fig. 6.6. Structure with circular void

Tabela 6.7

Wartości warunków brzegowych

T_1^0	300°C
T_2^0	20°C
q^0	0
p_0	100kN/m
α_1	1000W/m ² K
α_2	20W/m ² K
u_0	0

Ze względu na symetrię tarczy, rozpatrywano jej ćwiartkę. Na rys. 6.7 przedstawiono warunki brzegowe dla ćwiartki tarczy. Tarcza zawiera wewnętrzny rowek. Parametry warunków brzegowych zawarto w tab. 6.7.



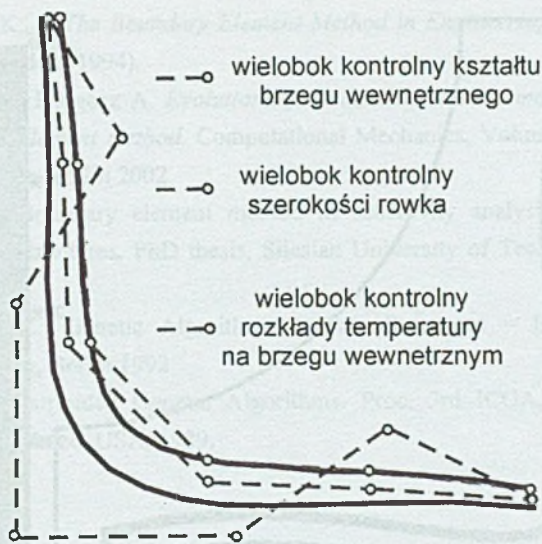
Rys. 6.7. Warunki brzegowe dla układu
Fig. 6.7. Boundary conditions

Zadanie optymalizacji polegało na minimalizacji przemieszczeń promieniowych na fragmencie brzegu z zadanymi siłami brzegowymi. W wyniku optymalizacji dobierano:

- kształt brzegu wewnętrznego,
- szerokość rowka,
- rozkład temperatury T^0 na brzegu wewnętrznym.

Kształt oraz szerokość rowka modelowana była za pomocą krzywych Beziera składających się z 7 punktów kontrolnych, natomiast rozkład temperatury na nim za pomocą krzywej składającej się z 6 punktów kontrolnych (rys. 6.8).

Uwzględniając symetrię krzywych parametrycznych względem linii AB (rys. 6.7) całkowita liczba zmiennych projektowych wyniosła 13. Zakres zmienności punktów kontrolnych krzywej kontrolującej szerokość rowka zawierał się w przedziale $[0.2 \div 0.8]$, natomiast dla krzywej związanej z rozkładem temperatury w przedziale $[5^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}]$.



Rys. 6.8. Sposób modelowania kształtu szerokości brzegu wewnętrznego oraz rozkładu temperatury na nim

Fig. 6.8. Modelling the shape, width of the gap and distribution of the temperature on the boundary

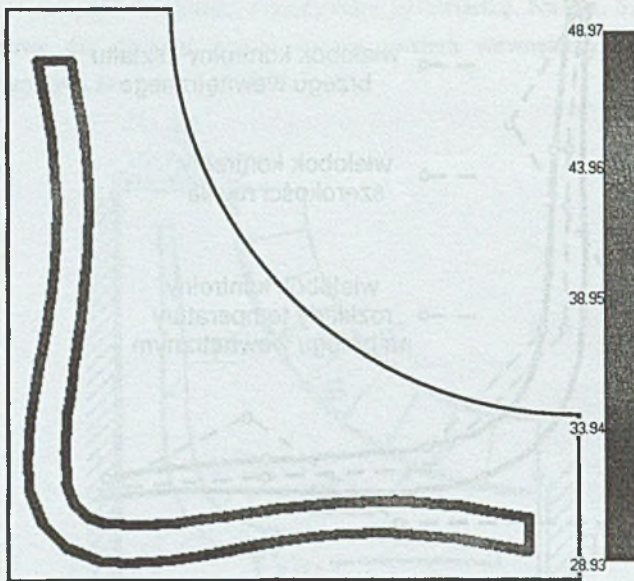
Zadanie rozwiązano stosując rozproszony algorytm ewolucyjny o dwu podpopulacjach.

Rysunek 6.9 przedstawia optymalny kształt rowka oraz rozkład temperatur. Tabela 6.8 zawiera wartości zmiennych projektowych dla uzyskanego rozwiązania.

Tabela 6.8

Wyniki optymalizacji

Kształt brzegu wewnętrznego	współrzędna x_1 1 punktu kontrolnego	1.1124
	współrzędna x_2 1 punktu kontrolnego	13.3259
	współrzędna x_1 2 punktu kontrolnego	2.4609
	współrzędna x_2 2 punktu kontrolnego	7.0000
	współrzędna x_1 3 punktu kontrolnego	1.6232
	współrzędna x_2 3 punktu kontrolnego	5.0000
	współrzędna $x_1 = x_2$ 4 pkt. kontrolnego	-4.0853
Szerokość rowka	wartość 1 punktu kontrolnego	0.4313
	wartość 2 punktu kontrolnego	0.2752
	wartość 3 punktu kontrolnego	0.8000
Rozkład temperatury na brzegu wew.	wartość 1 punktu kontrolnego	48.9698
	wartość 2 punktu kontrolnego	41.8679
	wartość 3 punktu kontrolnego	5.0000



Rys. 6.9. Optymalny kształt rowka oraz rozkład temperatur

Fig. 6.9. The optimal shape, width and distribution of the temperature on the gap

7. Wnioski

Połączenie algorytmów ewolucyjnych z metodą elementów brzegowych jest wydajnym narzędziem przy optymalizacji układów termomechanicznych. Niewątpliwą zaletą w stosunku do klasycznych algorytmów gradientowych jest większe prawdopodobieństwo znalezienia optimum globalnego. Jest to głównie spowodowane tym, że w przypadku algorytmów gradientowych konieczna jest znajomość punktu startowego, natomiast algorytm ewolucyjny, generując populację startową w sposób losowy, wydajnie zwiększa obszar poszukiwań.

Dodatkowo zastosowanie krzywych typu NURBS znacznie upraszcza rozwiązywane zagadnienie brzegowe poprzez redukcję liczby zmiennych projektowych.

Zastosowanie równoległych i rozproszonych algorytmów ewolucyjnych pozwala na znaczne skrócenie czasu obliczeń poprzez wykorzystanie tzw. „klastrów obliczeniowych”.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN 4T11F00822

Literatura

1. Aleander J.T., *An Indexed Bibliography of Distributed Genetic Algorithms*, University of Vaasa, Report 94-1-PARA, Vaasa, Finland, 2000.
2. Arabas J., *Lectures in evolutionary algorithms*, WNT, Warszawa, 2001.

3. Banerjee P. K., „ *The Boundary Element Method in Engineering*”, McGraw-Hill Book Company, London (1994).
4. Burczyński T., Długosz A. *Evolutionary optimization in thermoelastic problems using the boundary element method*. Computational Mechanics, Volume 28, No3-4, 317-324, Springer Verlag, Berlin 2002
5. Długosz A., Boundary element method in sensitivity analysis and optimization of thermoelastic structures, PhD thesis, Silesian University of Technology, Gliwice 2001. (in polish)
6. Michalewicz Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolutionary Programs. Springer Verlag, Berlin 1992
7. Tanese R., Distributed Genetic Algorithms. Proc. 3rd ICGA, pp.434-439, Ed. J.D. Schaffer. San Mateo, USA, 1989.

Abstract

The paper deals with the application of distributed evolutionary algorithms (DEA) and the boundary element method (BEM) in optimization and identification of elastic structures under thermomechanical loading. The optimum criterion is to minimize the displacement on the selected part of the boundary. Identification of voids having information about measured displacement and temperature in boundary sensor points was also considered. Measured values are simulated numerically by solving the boundary value problem of thermoelasticity by BEM for the actual position of internal voids.

Evolutionary algorithms (EA) [2,6] are well known tool for solving of optimization problems. The drawback of the algorithms is long time needed for computing. This work is an extension of previous papers in which the coupling of EA and BEM has been used in shape optimization and identification of thermoelastic structures [4,5]. The distributed evolutionary algorithms [1,7] can shorten computing time.

The distributed evolutionary algorithm works as a few isolated sequential evolutionary algorithms communicating between each other during migration phases. The evolutionary optimization is performed in a few steps. At first, the starting population is randomly generated. Then the fitness function values for every chromosome are computed. The evolutionary algorithm operators are applied next. When the migration phase occurs some chromosomes from subpopulations migrate to other sub-populations. The topology of the migration decides between which subpopulations migration occurs. The frequency of the migration phases and the number of migrating chromosomes are important parameters of the distributed evolutionary algorithm. The selection creates the offspring subpopulation based on the parent subpopulation modified by evolutionary operators. When selection is performed chromosomes immigrated from other subpopulations are also considered. The next iteration is performed if the end computing condition is not fulfilled.

The end computing condition can be expressed as the maximum number of iterations or the best chromosome fitness function value

Several tests and practical examples of optimization and identification were presented.

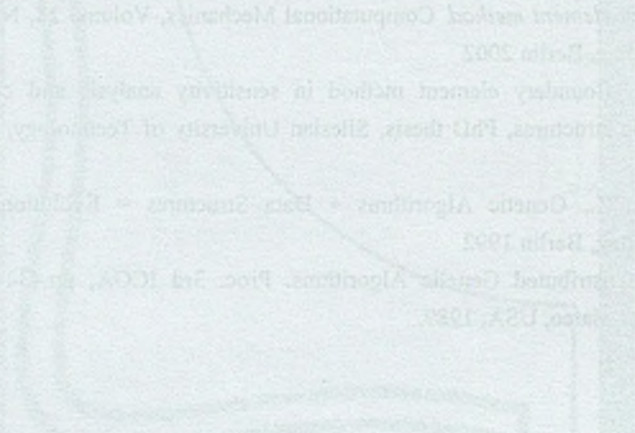


Figure 1

The paper deals with the application of the boundary element method (BEM) and the boundary element method (BEM) in optimization and identification of the structure under thermo-mechanical loading. The optimal choice of the boundary element method is selected part of the boundary. Identification of voids having information about mechanical displacement and temperature in boundary sensor point was also considered. Material properties are simulated numerically by solving the boundary value problem of thermo-mechanical problem.

The boundary element method (BEM) is a numerical method for solving partial differential equations (PDE) in two and three dimensions. It is based on the discretization of the boundary of the domain into boundary elements. The boundary element method is particularly useful for problems involving infinite domains, cracks, and other singularities. The boundary element method is also used in optimization and identification of structures. In this paper, the boundary element method is used to solve the problem of optimization and identification of structures under thermo-mechanical loading.

The boundary element method (BEM) is a numerical method for solving partial differential equations (PDE) in two and three dimensions. It is based on the discretization of the boundary of the domain into boundary elements. The boundary element method is particularly useful for problems involving infinite domains, cracks, and other singularities. The boundary element method is also used in optimization and identification of structures. In this paper, the boundary element method is used to solve the problem of optimization and identification of structures under thermo-mechanical loading.

The boundary element method (BEM) is a numerical method for solving partial differential equations (PDE) in two and three dimensions. It is based on the discretization of the boundary of the domain into boundary elements. The boundary element method is particularly useful for problems involving infinite domains, cracks, and other singularities. The boundary element method is also used in optimization and identification of structures. In this paper, the boundary element method is used to solve the problem of optimization and identification of structures under thermo-mechanical loading.