

**Krzysztof Dems, Jan Turant, Dariusz Witczak**  
Wyższa Szkoła Informatyki, Katedra Inżynierskich  
Zastosowań Informatyki, 93-008 Łódź, ul Rzgowska 17a  
email: jan\_turant@wsinf.edu.pl,  
dariusz\_witczak@wsinf.edu.pl,  
krzysztof\_dems@wsinf.edu.pl

## **SYMULACYJNE METODY IDENTYFIKACJI USZKODZEŃ W KONSTRUKCJACH MECHANICZNYCH**

Streszczenie – W pracy przedstawiono ważny z praktycznego punktu widzenia problem identyfikacji uszkodzeń konstrukcji mechanicznych. Zaprezentowane metody identyfikacji bazują na mechanizmach korelujących wybrane parametry konstrukcji modelowej i rzeczywistej. Na etapie analizy wybranych cech modelu wykorzystano metodę elementów skończonych. Na tym etapie badań nie przeprowadzono pomiaru wielkości charakterystycznych dla przyjętych sposobów identyfikacji na rzeczywistym obiekcie lecz symulowano go numerycznie. W celu urealnienia symulowanych pomiarów zaburzone je losowo rozłożonym błędem pomiaru. Ze względu na polimodalny charakter funkcjonatów identyfikacyjnych został zaproponowany ewolucyjny mechanizm optymalizacyjny jako najpewniejsze narzędzie minimalizacji.

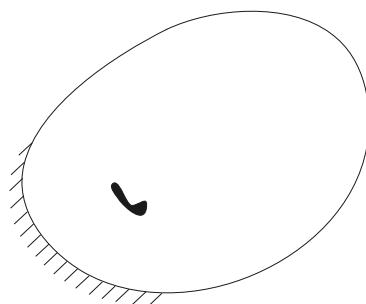
### **1 Wstęp**

Potrzeba stałego monitorowania konstrukcji mechanicznych, w celu wczesnego wykrycia uszkodzeń, jest przyczyną rozwoju licznych metod ich identyfikacji. Wśród metod identyfikacji możemy wyróżnić metody o charakterze lokalnym, które wymagają znajomości przybliżonego położenia uszkodzenia i dostępu do miejsca jego potencjalnej lokalizacji oraz metody globalne badające zachowanie się konstrukcji jako całości. Ograniczenia związane z lokalnymi metodami identyfikacji uszkodzeń spowodowały szybki rozwój globalnych metod wykrywania uszkodzeń bazujących np. na badaniu zmian charakterystyk dynamicznych lub termicznych w konstrukcji uszkodzonej. W pracy zwrócono szczególną uwagę na identyfikację uszkodzeń opartą o analizę zmian rozkładu pola temperatury oraz zmian postaci drgań własnych konstrukcji. O istotności poruszanego tematu świadczą coraz liczniejsze prace poświęcone tym zagadnieniom. W szczególności problem modalnej identyfikacji

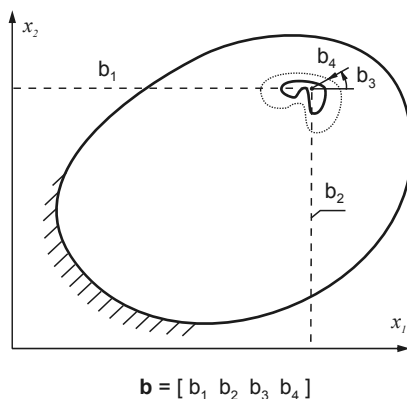
uszkodzeń poruszany jest między innymi w pracach [1, 2, 5, 6] zaś problem identyfikacji termicznej rozpatrywany jest np. w [3, 4, 7, 8, 9].

## 2 Sformułowanie problemu identyfikacyjnego

W zadaniach identyfikacji uszkodzeń, w wyniku przeprowadzonych pomiarów dysponujemy danymi eksperymentalnymi o obiekcie rzeczywistym, w którym może występować jedno lub wiele uszkodzeń (rys. 1).



Rys. 1. Konstrukcja uszkodzona z wewnętrznym defektem o nieznanym kształcie i położeniu



Rys. 2. Konstrukcja modelowa z uszkodzeniem o wyjściowym kształcie i położeniu (gdzie składowe wektora  $\mathbf{b}$  opisują odpowiednie: współrzędne i kształt uszkodzenia w lokalnym układzie współrzędnych).

Zbierane w wyniku pomiaru dane muszą opisywać odpowiedni rodzaj zachowanie się konstrukcji uszkodzonej i odpowiadać wybranej

metodzie identyfikacji. Mogą one, na przykład, określać rozkłady temperatur, odkształceń, charakterystyki tłumionych lub nietłumionych drgań własnych i wymuszonych. W celu identyfikacji liczby, położenia i kształtu uszkodzeń buduje się numeryczny model uszkodzonej konstrukcji. W prezentowanej pracy przyjmujemy, że w obszarze rzeczywistej konstrukcji występuje pojedyncze uszkodzenie, które będzie podlegać procesowi identyfikacji. Uszkodzenie to jest opisane parametrami określającymi jego lokalizację, orientację i wielkość (rys. 2).

Podstawą prowadzonego procesu identyfikacyjnego jest minimalizacja normy odległości globalnych miar zachowania się konstrukcji rzeczywistej i jej modelu ze względu na parametry określające lokalizację, orientację oraz wielkość uszkodzenia.

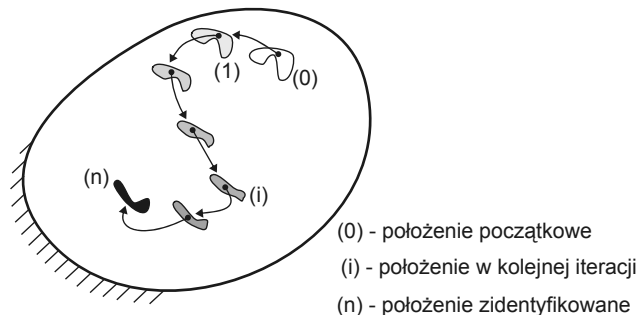
Jeśli przez  $Z^r$  oznaczymy dowolną globalną miarę zachowania się konstrukcji rzeczywistej, a przez  $Z^m$  konstrukcji modelowej, to funkcjonal identyfikacyjny będący miarą identyczności wspomnianych konstrukcji można zapisać w symbolicznej postaci:

$$I = I(Z^r, Z^m, \mathbf{b}) \quad (1)$$

Funkcjonał (1) osiąga minimalną wartość, równą zero, przy zgodności konstrukcji modelowej i rzeczywistej. Konkretna postać funkcjonału (1) zależy od zastosowanej techniki identyfikacji.

Minimalizując zatem normę (1) możemy określić szukane parametry uszkodzenia wychodząc z założenia, że zachowanie konstrukcji rzeczywistej i modelowej powinno być identyczne, gdy charakter defektów w obu konstrukcjach będzie identyczny.

Proces identyfikacji ma charakter iteracyjny. Konstrukcja modelowa w każdej iteracji powinna lepiej odpowiadać konstrukcji rzeczywistej (rys. 2) i charakteryzować się coraz mniejszą wartością funkcjonału (1).



Rys. 3. Konstrukcja modelowa ze ścieżką identyfikacyjną powstałą w iteracyjnym procesie identyfikacji parametrów uszkodzenia

W prezentowanej pracy dane dla rzeczywistej konstrukcji zostały otrzymane w wyniku symulacji pracy modelu z uszkodzeniem przy zakłóceniu danych wejściowych przez losowo wygenerowane przyrosty.

W pracy zaprezentowano dwa szczególnie ciekawe podejścia do identyfikacji uszkodzeń tj. identyfikację poprzez charakterystyki dynamiczne i termiczne.

### 3 Analiza numeryczna pracy konstrukcji

Na etapie analizy pracy konstrukcji wykorzystano metodę elementów skończonych. Metoda elementów skończonych jest uniwersalnym narzędziem obliczeń inżynierskich i zapewnia łatwe modelowanie konstrukcji o dowolnych kształtach ze względu na charakterystyki dynamiczne, odkształceniowe czy też termiczne co jest wymagane przy przeprowadzanej analizie pracy uszkodzonej konstrukcji modelowej. Metoda ta pozwala na łatwe określenie wymaganych wielkości fizycznych charakteryzujących pracę konstrukcji w węzłach siatki dzielącej konstrukcję na elementy skończone. W celu wyznaczenia występujących w funkcjonale (1) wielkości w dowolnym punkcie konstrukcji wykorzystuje się wzory interpolacyjne, które dla każdego elementu skończonego możemy zapisać w postaci:

$$\mathbf{u} = \mathbf{N} \cdot \mathbf{w}^e \quad (2)$$

gdzie  $\mathbf{u}$  jest wektorem poszukiwanych parametrów,  $\mathbf{w}^e$  oznacza wyliczone wielkości węzłowe, a  $\mathbf{N}$  jest macierzą funkcji kształtu elementu, zależną od typu wybranego elementu skończonego użytego na etapie dyskretyzacji oraz rodzaju analizy pracy konstrukcji (np. mechaniczna, termiczna).

### 4 Rozwiązanie problemu identyfikacyjnego

W celu przeprowadzenia procesu identyfikacyjnego może być wykorzystana dowolna technika optymalizacyjna o charakterze gradientowym lub bezgradientowym. Jedną z prostszych i bardziej niezawodnych metod jest bezgradientowa metoda Hooke'a-Jeeves'a. Metoda ta pozwala na uzyskanie zadawalających wyników, gdy minimalizowana funkcja jest unimodalna.

W przypadku polimodalności funkcjonale (1) została zaproponowana inna metoda rozwiązania problemu oparta o algorytm ewolucyjny z kodowaniem zmiennoprzecinkowym. Schemat zastosowanego algorytmu przedstawiono na rys. 4, zaś wykorzystywane operatory genetyczne są charakterystyczne dla przyjętego sposobu kodowania.

## Selekcja deterministyczna

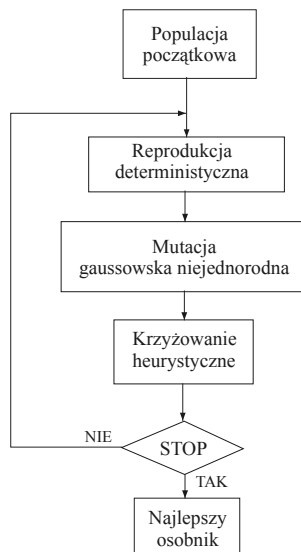
Jest to operator, który może być wykorzystywany zarówno w tradycyjnym jak i zmiennoprzecinkowym sposobie kodowania. W wyniku działania tego operatora liczba duplikatów danego osobnika (układ zmiennych opisujących jedno możliwe rozwiązanie) w pokoleniu rodziców jest możliwie najbliższa oczekiwanej wyrażonej wzorem:

$$l o_i = n \frac{f p_i}{\sum_{i=1}^n f p_i} \quad (3)$$

gdzie  $n$  oznacza licznosc populacji, a  $f p_i$  wartosc funkcji przystosowania  $i$ -tego osobnika.

## Krzyżowanie heurystyczne

W trakcie tego procesu na podstawie dwóch wybranych osobników przeprowadzana jest ekstrapolacja losowego rozmiaru w kierunku osobnika o większej funkcji przystosowania.



Rys. 4. Schemat zaproponowanego zmiennoprzecinkowego algorytmu ewolucyjnego

Maksymalny krok ekstrapolacji jest równy odległości (w przestrzeni zmiennych identyfikacyjnych) pomiędzy osobnikami rodzicielskimi. Jeśli nowo powstały osobnik nie mieści się w obszarze dopuszczalnym zmienności parametrów przeprowadzane są nowe ekstrapolacje nie

więcej razy jednak niż dopuszczalna ich ilość. W przypadku gdy nie powiedzie się żadna ekstrapolacja jako osobniki potomne zwracana jest para rodziców. W przeciwnym zaś przypadku zwracany jest osobnik otrzymany na drodze krzyżowania i ten z osobników rodzicielskich, który miał wyższą funkcję przystosowania.

### Mutacja gaussowska niejednorodna

Mutacja ta jest jednym z bardziej zaawansowanych operatorów mutacji. Nowy osobnik (po mutacji) wybierany jest na podstawie rozkładu Gaussa wokół osobnika rodzicielskiego. Odchylenie standardowe krzywej Gaussa jest wybierane jako część przedziału zmienności parametru poddawanego mutacji i zmniejsza się wraz z rosnącą liczbą pokoleń. Proces prowadzony jest przy założeniu, że osobniki w kolejnych pokoleniach są coraz bliższe rozwiązaniu optymalnego. Jeśli w wyniku procesu mutacji zostanie utworzony osobnik nie należący do obszaru dopuszczalnego mutacja jest powtarzana lecz nie więcej razy niż założona liczba powtórzeń.

Jako funkcję przystosowania wybrano tutaj funkcję w postaci:

$$F(\mathbf{x}) = e^{\left(-a \frac{(I(\mathbf{x}) - I_{\min}(\mathbf{x}))}{(I_{\max}(\mathbf{x}) - I_{\min}(\mathbf{x}))}\right)} \quad (4)$$

gdzie  $I(\mathbf{x})$  oznacza przyjęty funkcjonal identyfikacyjny (1)  $I_{\min}(\mathbf{x})$  i  $I_{\max}(\mathbf{x})$  są odpowiednio minimalną i maksymalną wartością tego funkcjonału w aktualnym pokoleniu, zaś  $a$  jest dodatnim współczynnikiem skalującym. Zaprezentowana funkcja przystosowania jest zawsze dodatnia, a jej maksima odpowiadają minimom funkcji celu. Większy współczynnik  $a$  pozwala uwypuklić globalne minima funkcji celu co może być szczególnie istotne dla układów rzeczywistych, w których pomiary mogą być obciążone pewnym błędem.

## 5 Modalna identyfikacja uszkodzeń

Modalna identyfikacja uszkodzeń jest stosunkowo młodą gałęzią metod identyfikacji. Ze względu na liczne niedogodności w identyfikacji uszkodzeń bazującej na częstościach drgań własnych zainteresowania naukowców zwracają się w stronę identyfikacji opartej o zmianę postaci drgań własnych konstrukcji wywołanych pojawiającymi się uszkodzeniami.

Przedstawiony problem identyfikacyjny zilustrowano na przykładzie konstrukcji belkowej. Problem drgań własnych nie tłumionych dla konstrukcji belkowej nie uszkodzonej może być przedstawiony w postaci:

$$(\mathbf{K}_0 - \lambda_{i0} \mathbf{M}_0) \phi_{i0} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

gdzie  $\mathbf{K}_0$  i  $\mathbf{M}_0$  są odpowiednio globalnymi macierzami sztywności i mas konstrukcji, a  $\lambda_{i0}$  i  $\phi_{i0}$  są „ $i$ -tą” częstością i postacią drgań własnych,  $n$  zaś oznacza liczbę obliczonych częstości i postaci drgań własnych.

Jeśli konstrukcja dozna uszkodzenia, odzwierciedlającego się zmianą jej macierzy sztywności  $\mathbf{K}$ , przy nie zmieniającej się macierzy mas, to problem drgań własnych będziemy mogli zapisać w postaci analogicznej do (5) jak następuje:

$$(\mathbf{K}^r - \lambda_k^r \mathbf{M}_0) \phi_k^r = 0 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

gdzie  $m$  pierwszych częstości  $\lambda_k^r$  i postaci  $\phi_k^r$  drgań można pozyskać eksperymentalnie. Drgania modelu konstrukcji uszkodzonej możemy opisać równaniem:

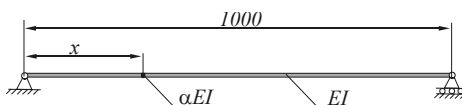
$$(\mathbf{K}^m - \lambda_i^m \mathbf{M}_0) \phi_i^m = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

W celu identyfikacji położenia i/lub wielkości uszkodzenia został wprowadzony funkcjonal identyfikacyjny typu (1). W tym przypadku funkcjonal ten może być traktowany jako norma „kątowej odległości” wektorów własnych modelu i konstrukcji rzeczywistej, określona jako suma kwadratów kątów pomiędzy wektorami  $m$  pierwszych postaci drgań własnych:

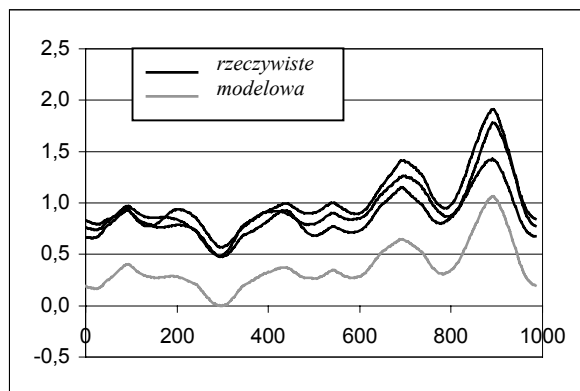
$$I_1 = \sum_{k=1}^m \left[ \arccos \left( \frac{\sum_{j=1}^p \phi_{kj}^m \phi_{kj}^r}{\sqrt{\sum_{j=1}^p (\phi_{kj}^m)^2 \sum_{j=1}^p (\phi_{kj}^r)^2}} \right) \right]^2 \quad (8)$$

gdzie  $p$  jest liczbą składowych wektorów postaci drgań. Funkcjonał ten osiąga globalne minimum równe zero przy identyczności wektorów własnych konstrukcji modelowej i rzeczywistej.

Przykładowe przebiegi funkcjonału (8) przy uwzględnieniu pierwszych pięciu postaci drgań własnych dla belki obustronnie podpartej z rys. 5, przy założeniu błędu pomiaru 1% (linie czarne) i bez błędu pomiaru (linia szara) pokazano na rys. 6. Charakter otrzymanych przebiegów wskazuje na zasadność wykorzystania metod minimalizacyjnych bazujących na algorytmach genetycznych, którym to przypisuje się zdolność do odnajdowania globalnie najlepszych rozwiązań.



Rys. 5. Belka z uszkodzeniem odległym o  $x$  od lewej podpory



Rys. 6. Przebieg funkcjonu (8) w funkcji położenia uszkodzenia w belce przy błędzie pomiaru mniejszym niż 1% wartości amplitud

### Przykład praktycznej identyfikacji

Praktyczne wykorzystanie proponowanego podejścia zilustrowano prostym przykładem identyfikacji osłabienia przekroju poprzecznego drgającej belki z rys 5., prowadzącego do 20% osłabienia sztywności na zginanie w uszkodzonym przekroju położonym w odległości  $x=300$  od lewego końca belki. Wprowadzając dodatkowo 1% błąd pomiaru amplitud wektorów własnych drgającej belki przeprowadzono 100 symulacji identyfikacji parametrów uszkodzenia przy wykorzystaniu zaproponowanego ewolucyjnego algorytmu genetycznego.

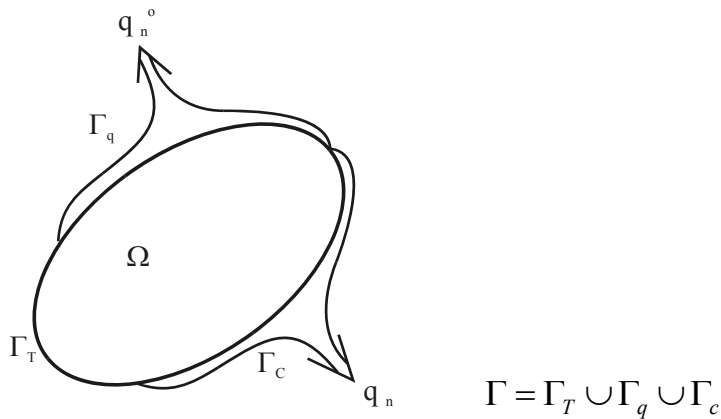
Otrzymany maksymalny błąd położenia uszkodzenia wynosił 1% zaś wielkości uszkodzenia 10% co dowodzi skuteczności metod identyfikacji bazujących na analizie zmian postaci drgań własnych konstrukcji.

## 6 Termograficzna identyfikacja uszkodzeń

Drugi przedstawiony w pracy sposób identyfikacji uszkodzeń bazuje na określeniu rozkładu temperatur na brzegu zewnętrznym obciążonej cieplnie konstrukcji. Metoda ta znajduje obecnie coraz większe zastosowanie w problemach identyfikacji uszkodzeń.

Rozważmy zatem dwuwymiarowy przepływ ciepła w ciele zajmującym obszar  $\Omega$  i wykonanym z materiału izotropowego (rys. 7)





Rys. 7. Problem podstawowy przewodzenia ciepła.

Problem podstawowy niestabilnego przewodzenia ciepła opisany jest różniczkowym równaniem przewodzenia w postaci:

$$\left. \begin{aligned} -\operatorname{div} \mathbf{q} + f &= c \frac{\partial T}{\partial t} \\ \mathbf{q} &= \mathbf{A} \cdot \nabla T + \mathbf{q}^* \end{aligned} \right\} \text{w } \Omega ; \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{T} \quad (9)$$

oraz odpowiednimi warunkami brzegowymi Dirichleta, Neumanna i Henkela i początkowymi:

$$\begin{aligned} T(\mathbf{x}, t) &= T^0 \quad \text{na } \Gamma_T \\ \mathbf{q}_n(\mathbf{x}, t) &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{q}(\mathbf{x}, t) = q_n^0 \quad \text{na } \Gamma_q \\ \mathbf{q}_n(\mathbf{x}, t) &= h(T - T_\infty) \quad \text{na } \Gamma_c \\ T(\mathbf{x}, 0) &= T_0 \quad \text{na } \Omega \cup \Gamma \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie  $T$  jest polem temperatur,  $q$  strumieniem ciepła, a  $f$  źródłem ciepła.

W celu identyfikacji położenia uszkodzenia został wprowadzony funkcjonal identyfikacyjny typu (1), który w tym przypadku jest normą odległości temperatury modelu identyfikowanej konstrukcji  $T^m$  i zmierzonej temperatury konstrukcji rzeczywistej  $T^r$  na całości lub fragmencie jej brzegu zewnętrznego  $\Gamma$ :

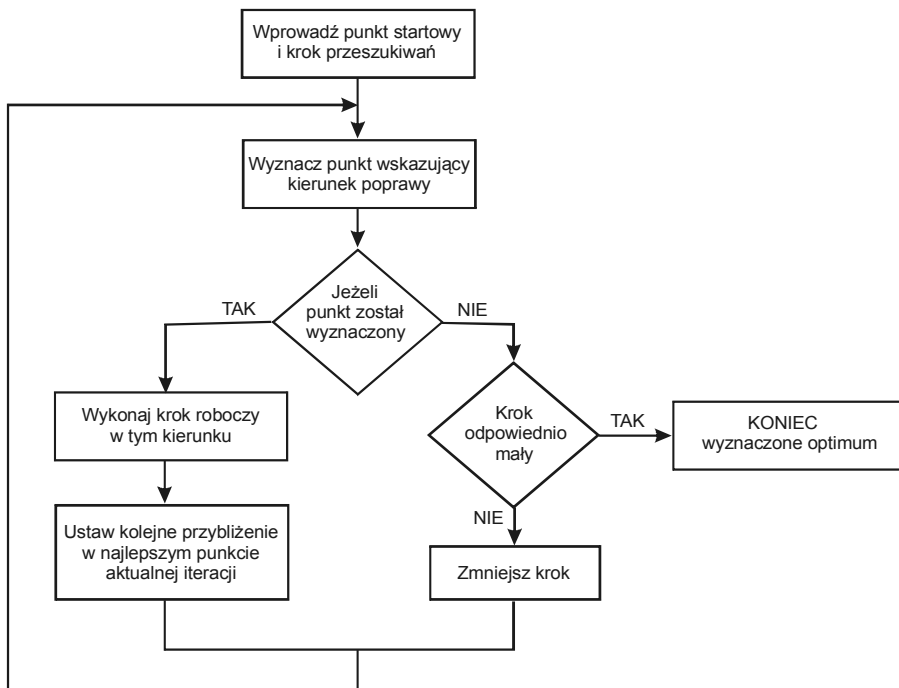
$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left[ \int_{\Gamma_m} (T^r - T^m)^2 d\Gamma \right] dt ; \quad \Gamma \in \Gamma_{zewn} - \Gamma_T \quad (11)$$

W przypadku ustalonego przepływu ciepła wszystkie wielkości w (9) i (10) są niezależne od czasu, a funkcjonal celu (11) przyjmie postać:

$$I = \frac{1}{2} \int_{\Gamma} (T^r - T^m)^2 d\Gamma; \quad \Gamma \in \Gamma_{zewn} - \Gamma_T \quad (12)$$

który jest podstawą analizy prowadzonej w dalszej części pracy.

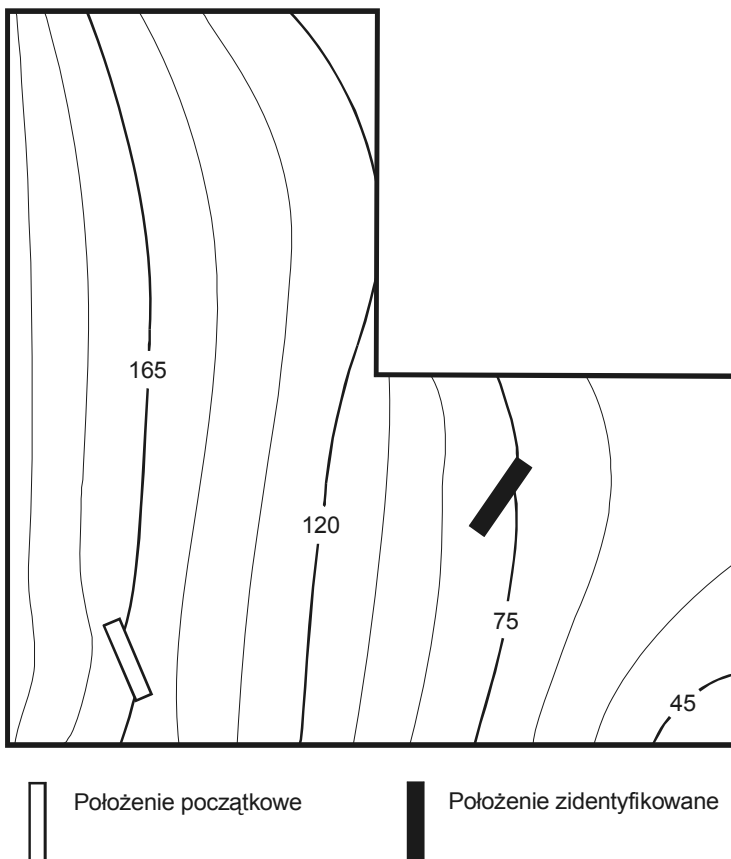
W celu minimalizacji funkcjonalu (12) wykorzystano bezgradientową metodę Hooke'a-Jeeves'a, której algorytm przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Schemat blokowy metody Hooke'a-Jeeves'a

Dla zilustrowania prowadzonego w ten sposób procesu iteracyjnego identyfikacji wykonano szereg eksperymentów numerycznych, w których założono, że uszkodzenie może podlegać zarówno translacji w dowolnym kierunku w obszarze konstrukcji jak i obrotowi.

Jako pierwszy przykład rozpatrzono identyfikację uszkodzenia (szczeliny) w tarczy w kształcie kątownika rys. 9. Tarczę obciążono cieplnie na dłuższych bokach stałym i liniowo zmiennym źródłem ciepła. Na pozostałych brzegach założono konwekcję. Wprowadzono losowo rozłożony błąd pomiaru pola temperatury o maksymalnej wartości wynoszącej 0.5 stopnia.



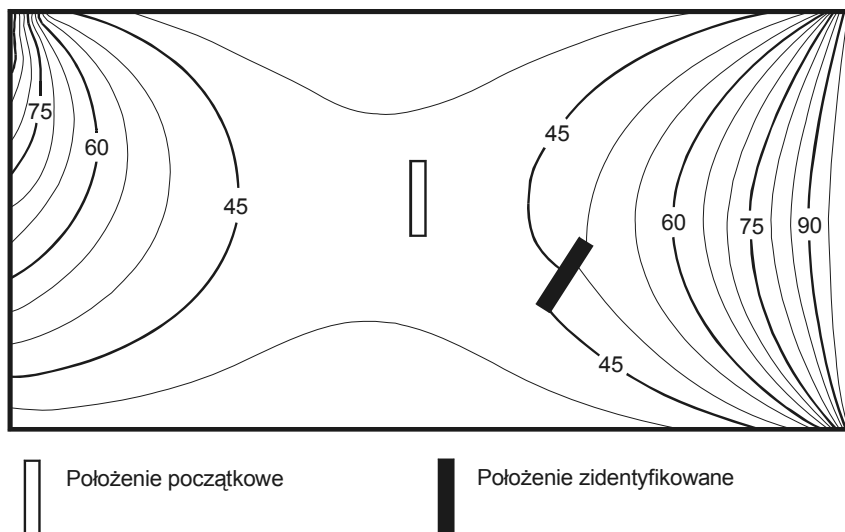
Rys. 9. Położenie uszkodzenia w tarczy przed i po identyfikacji (bez błędu pomiaru temperatury)

Rezultaty przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Rezultaty obliczeń

położenie startowe:	$y_s = -2.70$	$z_s = -1.1$	$\alpha_s = 0.3$
rzeczywiste położenie defektu:	$y_k = 1.3$	$z_k = 0.6$	$\alpha_k = -0.7$
położenie defektu po obliczeniach dla:			
bez błędu pomiaru	$y = 1.2895$	$z = 0.6165$	$\alpha = -0.727$
błędu pomiaru $\langle -0.1, 0.1 \rangle$	$y = 1.329$	$z = 0.6165$	$\alpha = -0.727$
błędu pomiaru $\langle -0.5, 0.5 \rangle$	$y = 1.566$	$z = 0.7745$	$\alpha = -0.6875$

W drugim przykładzie przeprowadzono identyfikację defektu znajdującego się w obszarze prostokątnej tarczy (rys. 10). Tarczę obciążono cieplnie na krótszych bokach jednorodnym i liniowo zmiennym źródłem ciepła. Na pozostałych brzegach założono konwekcję. Wprowadzono losowo rozłożony błąd pomiaru pola temperatury o wartości wynoszącej 0.5 stopnia.



Rys. 10. Położenie uszkodzenia w tarczy przed i po identyfikacji (bez błędu pomiaru temperatury)

Rezultaty przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela. 2. Rezultaty obliczeń

położenie startowe:	$y_s = 0.25$	$z_s = 0.25$	$\alpha_s = 0.0$
rzeczywiste położenie defektu:	$y_k = 1.25$	$z_k = -0.5$	$\alpha_k = -0.57$
położenie defektu po obliczeniach dla:			
bez błędu pomiaru	$y = 1.253$	$z = -0.517$	$\alpha = -0.5605$
błędu pomiaru $<-0.1, 0.1>$	$y = 1.3415$	$z = -0.4285$	$\alpha = -0.236$
błędu pomiaru $<-0.5, 0.5>$	Brak rozwiązania po 119 iteracjach		

Z otrzymanych rezultatów wynika, że maksymalny błąd położenia uszkodzenia nie przekroczył 1 % przy zerowym błędzie pomiaru pola temperatury zaś 6 % po wprowadzeniu założonego maksymalnego błędu. Można zatem stwierdzić, że zaprezentowana metoda jest dobrym narzędziem identyfikującym wewnętrzne defekty w elementach konstrukcji.

## 7 Podsumowanie

Omówione metody identyfikacji uszkodzeń okazały się skutecznym narzędziem analizy stanu uszkodzonej konstrukcji a metoda elementów skończonych wykazała swoją przydatność w tego typu badaniach

W prezentowanych przykładach błąd lokalizacji uszkodzenia nie przekraczał 6% a błąd wielkości defektu 10% przy założeniu określonego błędu pomiaru. Warto zwrócić uwagę na fakt, że błąd pomiaru dla rzeczywistej konstrukcji ma charakter nieuchronny co wyklucza precyzyjne określenie parametrów uszkodzenia.

## Literatura

- [1] Bicanic N., Chen H.P.: Damage identification in framed structures using natural frequencies. *Int.J.Num.Meth.Eng.*, Vol. 40, pp.4451-68, 1997.
- [2] Hearn G., Testa R.B.: Modal analysis for damage detection in structures. *ASCEJ.Struct.Eng.*, Vol. 117, pp. 3042-63, 1991.
- [3] Dems K., Mróz Z.: Shape sensitivity in mixed Dirichlet-Neuman boundary – value problems and associated class of path-independent integrals., *Eur. J. Mech. A/Solids* n<sup>o</sup>2 169-203, 1995.
- [4] Dems K., Mróz Z.: Application of the path-independent sensitivity interals in thermographic identification of defects., *Proc. 4<sup>th</sup> World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, Dalian-Chiny 2001.*
- [5] Dems K., Mróz Z.: Identification of damage in beam and plate structures using parameter-dependent frequency changes. *Engineering Computations*, Vol. 18 No. 1/2, pp. 96-120, 2001.
- [6] Turant J.: Modalna identyfikacja uszkodzeń konstrukcji wspomagana reanalizą. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej – Mechanika Stosowana*, 2004.
- [7] Korycki R., Witczak D.: Modelowanie i identyfikacja położenia szczeliny w konstrukcjach przy nieustalonym przewodzeniu ciepła., *IX Warsztaty Naukowe PTSK, Koszalin – Osieki 2002.*
- [8] Witczak D.: Termiczna identyfikacja położenia defektu w elementach konstrukcji., *Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej*, 2005.
- [9] Taler J.: Teoria i praktyka identyfikacji procesów przepływu ciepła. *Zakład Narodowy imienia Ossolińskich, Wrocław-Warszawa-Kraków 1995.*

## **SIMULATIONAL METHODS OF DAMAGE IDENTIFICATION IN MECHANICAL STRUCTURES**

Summary – The paper deals with problem of damage identification in mechanical structures. The presented methods are based on correlational mechanisms for chosen parameters of real and model structure. To determine proper parameters of structure behaviour the finite element method was chosen. On this stage of research the measurements of a real structure were simulated numerically based on randomly noised response of the model. With respect to suspected polimodal character of identification functionals an evolutionary algorithm was proposed as reliable tool for solving these types of problems.