

Dominika ZIAJA¹
Bartosz MILLER²

DOSTRAJANIE MODELU RAMY Z WYKORZYSTANIEM ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH I SIECI NEURONOWYCH

W pracy przedstawiono porównanie wyników dostrajania modelu numerycznego konstrukcji do modelu fizycznego na przykładzie dwupiętrowej ramy. Do dostrajania wykorzystano metodę Trust Region (TR), Algorytmy Genetyczne (AG) i Sztuczne Sieci Neuronowe (SSN). Dostrajanie polegało na identyfikacji sztywności obrotowych węzłów łączących rygle ramy ze słupami oraz słupy z podłożem, w badaniach wykorzystano dane doświadczalne. Analizowano zarówno poprawę odpowiedzi dynamicznej układu na podstawie dopasowania częstotliwości oraz postaci drgań jak i czasochłonność poszczególnych metod.

Słowa kluczowe: monitorowanie stanu konstrukcji (SHM), dostrajanie modelu, algorytmy genetyczne, sieci neuronowe

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji ma obecnie coraz większe znaczenie, niestety związane z tym okresowe przeglądy są kosztowne, a szczegółowa inspekcja wizualna konstrukcji nie zawsze jest możliwa. Inspekcja wizualna może być w pewnych przypadkach uzupełniona lub zastąpiona nieniszczącymi metodami badawczymi (np. pomiar parametrów dynamicznych konstrukcji). Metody nieniszczące dają możliwość ciągłego monitorowania konstrukcji, co z kolei pozwala na szybką reakcję w przypadku wykrycia zmian w monitorowanych parametrach. Idea ta stoi u podstaw dziedziny nazywanej monitorowaniem stanu konstrukcji (SHM) [2, 3].

Zastosowanie systemów monitorujących i analizujących zachowanie konstrukcji w porównaniu z założonym modelem obliczeniowym pozwala

¹ Autor do korespondencji: Dominika Ziąja, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. (0-17)8651618, dziaja@prz.edu.pl

² Bartosz Miller, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. (0-17)8651532, bartosz.miller@prz.edu.pl

na wczesne wykrywanie uszkodzeń konstrukcji, dzięki czemu można unikać poważnych awarii oraz redukować koszty ewentualnych napraw jak i zwiększyć bezpieczeństwo użytkowania obiektu.

Informacje o uszkodzeniu konstrukcji można uzyskać z analizy zmiany różnych parametrów układu traktowanego jako całość lub opisujących poszczególne elementy konstrukcji. Jedną z możliwości jest wykorzystanie analizy dynamicznej polegającej na wyznaczeniu częstotliwości i odpowiadających im postaci drgań własnych i tę metodę wykorzystano w przedstawionych w artykule badaniach.

Wymaga to zbudowania modelu badanej konstrukcji, który będzie w możliwie najlepszym stopniu opisywał pracę rzeczywistej konstrukcji. Podczas budowy modelu numerycznego przyjmuje się cały szereg założeń związanych m.in. z idealizacją warunków brzegowych, przyjmuje się uproszone modele materiałowe, nie uwzględnia się występujących w konstrukcji rzeczywistej imperfekcji geometrycznych, wykorzystuje się uproszczone modele tłumienia lub zupełnie pomija się wpływ tłumienia. Wraz z błędami związanymi z zastosowaną metodą obliczeniową powoduje to pojawienie się rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń numerycznych a wynikami pomiarów wykonywanych na konstrukcji rzeczywistej.

Do modelu numerycznego można wprowadzać zmiany i modyfikacje w celu minimalizacji tych rozbieżności, dopasowanie modelu numerycznego do modelu fizycznego można wykonać przy użyciu różnych metod, celem pracy jest porównanie skuteczności trzech metod dostrajania modelu (Trust Region: TR, Algorytmy Genetyczne [5]: AG, Sztuczne Sieci Neuronowe [4]: SSN) na przykładzie identyfikacji sztywności obrotowej węzłów dwupiętrowej ramy portalowej.

2. Opis modelu

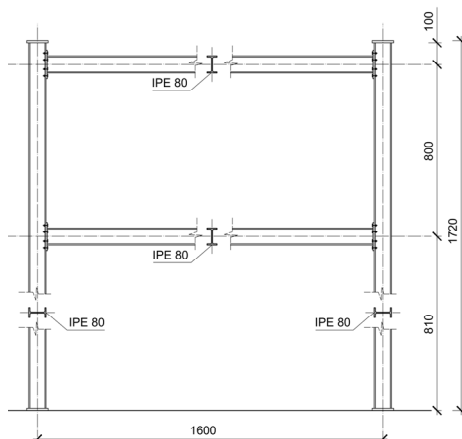
Na potrzeby omawianego zadania został zbudowany model fizyczny dwukondygnacyjnej ramy portalowej (patrz Rys. 1). Ramę wykonano z kształtownika IPE80, wszystkie połączenia rygiel-słup zostały wykonane jako doczołowe z czterema rzędami śrub M8 klasy 8.8 (Rys. 2).

Drgania wzbudzano przy pomocy wzbudnika firmy The Modal Shop, Inc. Model 2100E11, zamocowanego na dodatkowej konstrukcji wsporczej i tak połączonego z konstrukcją, aby kierunek wymuszenia leżał w płaszczyźnie ramy. Zastosowano wymuszenie białym szumem generowanym przez pakiet LMS TestLab w zakresie 0-256Hz. Podczas pomiaru rejestrowano przyspieszenia w płaszczyźnie ramy w 12 punktach przy pomocy jednoosiowych czujników PCB Piezotronics, Inc. Model 352C03 oraz siłę wymuszającą przy pomocy czujnika PCB Piezotronics, Inc. Model 208C03 (patrz Rys. 3). Dane były zbierane przy pomocy analizatora LMS SCADAS Mobile. Amplituda zarejestrowanych przyspieszeń wynosiła 3.0 m/s^2 ,

a amplituda siły wymuszającej wynosiła 13.5N. Analizę modalną przeprowadzono przy użyciu komercyjnego pakietu lms testlab spectral testing z wykorzystaniem procedury polymax [8], parametry pomiaru zostały tak dobrane aby pomierzony sygnał po transformacji do dziedziny częstotliwości miał zakres 0-256Hz i rozdzielczość 0.125Hz.

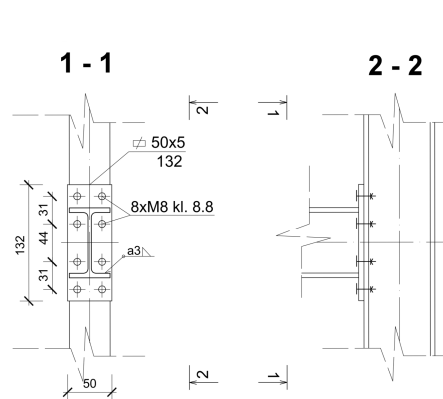
Spośród otrzymanych z pakietu LMS TestLab częstotliwości i postaci drgań wybrano do dalszej analizy (na podstawie analizy wartości współczynnika MAC) wyłącznie te, które odpowiadały częstotliwościom i postaciom obliczonym z wykorzystaniem płaskiego modelu MES. W badaniach rozważano trzy warianty połączenia pomiędzy ryglami a słupami:

- przy pomocy ośmiu śrub w każdym połączeniu,
- rozkręcony prawy, górny węzeł rygiel-słup (pozostawiono tylko jeden, wewnętrzny rząd dwóch śrub),
- rozkręcony prawy, dolny węzeł rygiel-słup (pozostawiono tylko jeden, wewnętrzny rząd dwóch śrub).



Rys. 1. Model fizyczny

Fig. 1. Physical model



Rys. 2. Połączenie rygiel-słup

Fig. 2. Beam-to-column connection

Model numeryczny (Rys. 4) badanej ramy wykonano w programie MATLAB wykorzystując Metodę Elementów Skończonych (MES). Zastosowano 18 dwuwęzłowych elementów o sześciu stopniach swobody oraz 6 elementów dwuwęzłowych o dwóch stopniach swobody umożliwiających zbudowanie podatnych połączeń rygiel-słup oraz słup-podłoże. W modelach numerycznych dla każdego z trzech badanych przypadków przyjęto następujące założenia (Tablica 1 oraz Rys. 4):

- przegubowe połączenia z podłożem ($k_1=0$ Nm/rad),
- sztywne połączenia rygiel-słup z 8 śrubami ($k_2=10^{10}$ Nm/rad),
- przegubowe połączenia rygiel-słup z dwiema śrubami ($k_3=0$ Nm/rad).

W celu lepszego dopasowania modelu numerycznego do modelu fizycznego sztywności k_1 i k_2 dostrajano kolejno trzema metodami: TR, AG i SSN. W każdej z metod składnikami minimalizowanej funkcji celu były wyłącznie częstotliwości drgań, podczas oceny otrzymanych wyników porównywano jednak nie tylko częstotliwości drgań własnych ale również postacie drgań i czas niezbędny na wykonanie zadania. Do oceny dopasowania postaci drgań wykorzystano współczynniki Modal Assurance Criterion (MAC) obliczane według wzoru [1, 7]:

$$MAC_{jk} = \frac{|\Phi_{mj}^T \Phi_{ak}|^2}{(\Phi_{ak}^T \Phi_{ak})(\Phi_{mj}^T \Phi_{mj})} \quad (1)$$

gdzie: Φ_{mj} - wektor opisujący otrzymaną z pomiarów j-tą formę drgań,
 Φ_{ak} - k-ta forma drgań własnych z obliczeń numerycznych.

W przypadku modeli o schemacie drugim i trzecim (Tablica 1) rozkręcenie śrub w wybranym połączeniu skutkuje koniecznością dostrojenia kolejnego parametru jakim jest sztywność obrotowa rozkręconego węzła (oznaczona symbolem k_3). Dla połączeń z podłożem przyjęto, jak poprzednio, sztywność k_1 , a dla pozostałych połączeń rygiel-słup (8 śrub) sztywność k_2 . Zastosowano, tak jak w punkcie 3.1., trzy różne metody dostrajania, z tą różnicą, że optymalizowano wartości trzech parametrów. Rezultaty przedstawiono w Tabeli 1.

4. Wykorzystane metody dostrajania modelu

4.1. Funkcja Trust Region

Minimalizowano funkcję celu przyjętą w postaci:

$$g(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^4 (f_{i, fiz} - f_{i, num}(\mathbf{x}))^2 \quad (2)$$

gdzie: i - numer formy drgań,

$f_{i, fiz}$ - i-ta częstotliwość drgań pomierzona dla modelu fizycznego

$f_{i, num}(\mathbf{x})$ - i-ta częstotliwość drgań wyznaczona z modelu numerycznego przy sztywności:

- a) dla schematu 1 $\mathbf{x} = [k_1, k_2]$
 - b) dla schematu 2 $\mathbf{x} = [k_1, k_2, k_3]$
 - c) dla schematu 3 $\mathbf{x} = [k_1, k_2, k_3]$
- (3)

Planowane jest zastosowanie innych funkcji celu, także różnicujących wpływ poszczególnych częstotliwości na wartość funkcji celu.

4.2. Algorytmy genetyczne

Przy pomocy AG minimalizowano funkcję celu przyjętą w postaci takiej jak dla TR, wzór (2). Zarówno liczebność populacji jak i liczbę pokoleń ustalono na 50, wykorzystano kodowanie rzeczywistoliczbowe.

4.3. Sieci neuronowe

Zastosowanie SSN wymaga przygotowania wzorców wykorzystywanych następnie do uczenia sieci. Pełne pokrycie wzorcami zakresu $0-10^7$ Nm/rad przy trzech dostrajanych sztywnościach wymagałoby dużej liczby wzorców co z kolei zwiększa czasochłonność uczenia SSN. Zadanie postanowiono rozwiązać w dwóch krokach – pierwszy miał na celu określenie rzędu wielkości poszczególnych sztywności, w drugim wyznaczano wartości sztywności węzłów na podstawie zwiększonej liczby wzorców z zawężonego przedziału sztywności.

Do dostrojenia modelu zastosowano sieci jednowarstwowe o czterech neuronach wejściowych odpowiadających pierwszym czterem częstotliwościom drgań ramy. Na wyjściu przyjęto, w zależności od zadania, 2 lub 3 neurony, które odpowiadały dostrajanym sztywnościom obrotowym. Liczbę neuronów w warstwie ukrytej dobierano tak, aby zminimalizować funkcję celu przyjętą w postaci błędu średniokwadratowego. Przeanalizowano rezultaty otrzymane dla sieci o liczbie neuronów w warstwie ukrytej zmieniającej się od 1 do 11. Do uczenia SSN wykorzystano algorytm Levenberga–Marquardta.

Wyniki dostrajania zestawiono w Tabeli 1. Czas przedstawiony w tej tabeli zawiera czas potrzebny na generowanie wzorców oraz średnie czasy uczenia sieci w pierwszym i drugim kroku.

Tabela 1. Zestawienie wyników dostrajania dla poszczególnych metod i funkcji celu bazującej wyłącznie na częstotliwościach drgań modelu

Table 1. Results of FEM model updating for three different methods, the objective function based only on modal frequencies

Schemat 1															
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN			
	$f_{i,fz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC		
1	26,4	23,5	10,9	1,00	25,2	4,2	1,00	26,3	0,1	1,00	25,5	3,3	1,00		
2	115,2	118,1	-2,6	0,96	116,1	-0,8	0,97	117,1	-1,7	0,96	116,5	-1,1	0,97		
3	145,0	156,7	-8,1	0,82	146,5	-1,0	0,85	144,5	0,3	0,86	146,5	-1,1	0,85		
4	162,9	183,9	-12,9	0,84	162,0	0,6	0,88	158,4	2,8	0,89	162,1	0,5	0,88		
Szywności węzłów [Nm/rad]															
k_1	0				1,19E+005			1,91E+005			1,30E+005				
k_2	1,00E+010				1,23E+006			9,86E+005			1,24E+006				
				CPU Time 1.34 s				CPU Time 34.08 s				CPU Time 39.9 s			
generowanie wzorców 17.27s															

Schemat 2															
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN			
	$f_{i,fz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC		
1	25,4	21,7	14,8	0,99	24,8	2,4	1,00	25,5	-0,4	1,00	26,3	-3,4	1,00		
2	113,7	90,7	20,3	0,32	114,2	-0,4	0,92	115,8	-1,8	0,95	116,6	-2,5	0,91		
3	144,1	140,4	2,6	0,86	143,8	0,2	0,88	144,2	-0,1	0,85	146,0	-1,3	0,87		
4	160,1	178,5	-11,5	0,99	160,2	-0,1	0,95	158,4	1,0	0,92	164,5	-2,8	0,94		
Szywności węzłów [Nm/rad]															
k_1	0,00E+000				1,14E+005			1,52E+005			1,50E+005				
k_2	1,00E+010				1,14E+006			9,97E+005			1,50E+006				
k_3	0,00E+000				7,20E+005			9,18E+005			8,65E+005				
				CPU Time 2.57 s				CPU Time 37.85 s				CPU Time 144.6 s			
generowanie wzorców 133.2 s															

Schemat 3															
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN			
	$f_{i,fz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_i [%]	MAC		
1	25,4	16,9	33,3	0,99	22,0	13,6	0,99	25,2	0,8	1,00	26,3	-3,4	1,00		
2	114,2	113,5	0,6	0,85	117,1	-2,5	0,88	117,6	-3,0	0,79	118,0	-3,3	0,76		
3	144,1	141,3	1,9	0,04	145,0	-0,6	0,12	148,6	-3,1	0,70	148,0	-2,7	0,82		
4	160,1	161,4	-0,8	0,09	158,8	0,8	0,20	161,5	-0,9	0,79	164,0	-2,4	0,88		
Szywności węzłów [Nm/rad]															
k_1	0,00E+000				7,60E+004			1,20E+005			1,50E+005				
k_2	1,00E+010				4,70E+006			1,82E+006			1,50E+006				
k_3	0,00E+000				1,24E+005			7,21E+005			1,25E+006				
				CPU Time 1.54 s				CPU Time 32.9 s				CPU Time 447.5 s			
generowanie wzorców 372.8 s															

Tabela 2. Zestawienie wyników dostrajania dla poszczególnych metod i funkcji celu bazującej zarówno na częstotliwościach jak i na formach drgań modelu

Table 2. Results of FEM model updating for three different methods, the objective function based on modal frequencies and mode shapes

Schemat 1														
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN		
	$f_{i,ffz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	
1	26,4	23,5	10,9	1,00	25,9	1,9	1,00	26,2	0,6	1,00	25,7	2,6	1,00	
2	115,2	118,1	-2,6	0,96	116,8	-1,4	0,97	117,0	-1,5	0,96	116,6	-1,2	0,97	
3	145,0	156,7	-8,1	0,82	146,0	-0,7	0,86	144,6	0,3	0,86	146,3	-0,9	0,85	
4	162,9	183,9	-12,9	0,84	161,2	1,1	0,88	158,6	2,7	0,89	161,7	0,8	0,88	
Sztynności węzłów [Nm/rad]														
k_1	0				1,51E+005			1,84E+005			1,40E+005			
k_2	1,00E+010				1,16E+006			9,98E+005			1,20E+006			
				CPU Time 1.67 s			CPU Time 34.0 s			CPU Time 89.7 s				
generowanie wzorców 83.0 s														

Schemat 2														
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN		
	$f_{i,ffz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	
1	25,4	21,7	14,8	0,99	24,9	2,0	1,00	25,6	-0,8	1,00	26,6	-4,9	1,00	
2	113,7	90,7	20,3	0,32	114,1	-0,4	0,91	115,3	-1,4	0,93	116,6	-2,5	0,91	
3	144,1	140,4	2,6	0,86	143,4	0,5	0,88	143,0	0,8	0,88	143,5	0,4	0,89	
4	160,1	178,5	-11,5	0,99	159,8	0,2	0,95	157,9	1,4	0,94	160,0	0,0	0,95	
Sztynności węzłów [Nm/rad]														
k_1	0				1,21E+005			1,61E+005			2,00E+005			
k_2	1,00E+010				1,12E+006			9,86E+005			1,12E+006			
k_3	0,00E+000				6,82E+005			7,17E+005			6,87E+005			
				CPU Time 1.78 s			CPU Time 47.9 s			CPU Time 532.3 s				
generowanie wzorców 434.15 s														

Schemat 3														
i	Pomiar	Model wyjściowy				TR			AG			SSN		
	$f_{i,ffz}$ [Hz]	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	$f_{i,num}$ [Hz]	Δ_1 [%]	MAC	
1	25,4	16,9	33,3	0,99	25,2	0,8	1,00	24,8	2,3	1,00	26,6	-4,7	1,00	
2	114,2	113,5	0,6	0,85	114,7	-0,4	0,73	115,1	-0,8	0,75	118,0	-3,3	0,76	
3	144,1	141,3	1,9	0,04	143,3	0,6	0,89	144,6	-0,3	0,84	145,6	-1,0	0,81	
4	160,1	161,4	-0,8	0,09	160,0	0,1	0,93	158,5	1,0	0,90	158,7	0,9	0,88	
Sztynności węzłów [Nm/rad]														
k_1	0				1,33E+005			1,22E+005			2,00E+005			
k_2	1,00E+010				1,55E+006			1,00E+006			1,12E+006			
k_3	0,00E+000				8,59E+005			9,97E+005			8,73E+005			
				CPU Time 1.92 s			CPU Time 34.5 s			CPU Time 583.7 s				
generowanie wzorców 428.2 s														

5. Identyfikacja sztywności obrotowej węzłów przy wykorzystaniu częstotliwości i postaci drgań.

Dostrajanie modelu numerycznego przy wykorzystaniu wyłącznie informacji o częstotliwościach drgań własnych nie pozwoliło na zadowalające dopasowanie form drgań, szczególnie duże rozbieżności dało się zauważyć w przypadku schematu trzeciego. Stąd też zdecydowano się zmodyfikować funkcję celu dodając kolejny człon zawierający informację o zgodności postaci drgań. Poza zmianą funkcji celu zadanie rozwiązano analogicznie jak w punkcie 3, dostrajanie wykonano ponownie przy pomocy funkcji TR, AG, oraz SSN. W celu oceny skuteczności modyfikacji funkcji celu obliczenia powtórzono dla wszystkich trzech schematów a wyniki zestawiono w Tabeli 2.

5.1. TR i AG ze zmodyfikowaną funkcją celu

Zmodyfikowana funkcja celu jest przedstawiona wzorem (4). Pierwszy człon, jak w punkcie 3.1., dotyczył częstotliwości drgań, natomiast kolejny mówił o rozbieżności pomiędzy formami modelu numerycznego i fizycznego. Rozbieżność mierzono przy pomocy parametru MAC. Im wyższa wartość współczynnika MAC, tym postaci bardziej do siebie zbliżone. Osiągnięcie wartości równej 1.0 oznacza, że badane postaci są liniowo zależne. Funkcja TR minimalizuje założoną funkcję celu, stąd we wzorze pojawia się człon $1 - MAC_{ii}$. Ponieważ wartości częstotliwości są 50 do 100 razy większe od wartości $1 - MAC_{ii}(x)$ w funkcji celu dodano współczynnik w . Wartość tego współczynnika dobierano metodą prób i błędów.

Zmodyfikowaną funkcję celu przyjęto w postaci:

$$g(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^4 (f_{i, fiz} - f_{i, num}(\mathbf{x}))^2 + \sum_{i=1}^4 (w \cdot (1 - MAC_{ii}(\mathbf{x})))^2 \quad (4)$$

gdzie: i - numer formy drgań,

$f_{i, fiz}$ - i -ta częstotliwość drgań pomierzona dla modelu fizycznego

$f_{i, num}(x)$ - i -ta częstotliwość drgań wyznaczona z modelu numerycznego przy sztywnościach jak w (3),

w - współczynnik określony doświadczalnie,

$MAC_{ii}(x)$ - współczynnik korelacji pomiędzy i -tą postacią drgań modelu fizycznego i odpowiadającą jej postacią drgań modelu numerycznego zależną od wektora \mathbf{x} zgodnie z (3).

5.2. SSN z uwzględnieniem postaci drgań

Dostrajanie modelu ramy z wykorzystaniem informacji o postaciach drgań przeprowadzono w identyczny sposób jak opisano w punkcie 3.5. Jediną różnicą było przyjęcie w warstwie wejściowej sieci ośmiu neuronów. Pierwsze cztery neurony, jak poprzednio, zawierały kolejne cztery częstotliwości. Neurony od piątego do ósmego przekazywały wartości współczynników MAC.

6. Wnioski

Na podstawie zamieszczonych w artykule wyników można stwierdzić, że dostrajanie modelu przy pomocy funkcji TR i AG przyniosło zbliżone rezultaty, nieco gorsze wyniki daje wykorzystanie SSN. Można jednak zauważyć, że w przypadku dużej rozbieżności pomiędzy danymi pomiarowymi a numerycznymi funkcja TR z wykorzystaniem jedynie informacji o częstotliwościach drgań nie pozwala na dostrojenie modelu. W tym przypadku lepsze okazują się algorytmy genetyczne pomimo konieczności zwiększenia nakładu czasu.

Zmiana postaci funkcji celu i wykorzystanie informacji o postaci drgań, poprawiło dostrajanie modelu dla schematu trzeciego. Różnice dla schematu pierwszego i drugiego są znacznie mniejsze i mogą wynikać z losowo przyjmowanych parametrów początkowych.

Niestety każda z prezentowanych metod posiada swoje ograniczenia. W przypadku TR jest to fakt, że można dostroić co najwyżej tyle parametrów, ile mierzalnych wielkości jest wykorzystanych w funkcji celu (np. przy znanych trzech częstotliwościach drgań można dostroić co najwyżej trzy sztywności węzłów). Ważne jest również odpowiednie przyjęcie punktu początkowego, szczególnie gdy funkcja celu posiada minima lokalne. Niedogodność AG związana jest z koniecznością ustalenia liczebności populacji i zakresu, w którym ma zostać wyszukane rozwiązanie, natomiast główną wadą SSN jest długi czas potrzebny na wygenerowanie wzorców oraz uczenie sieci. Nie bez znaczenia jest również losowy dobór wag na początku uczenia.

Prezentowane wyniki obrazują początkowe stadium badań modelu ramy. Docelowo analiza odpowiedzi dynamicznej prezentowanego modelu ma umożliwić detekcję uszkodzeń, określenie ich lokalizacji (dostarczenie informacji czy uszkodzenie występuje w węźle, czy na długości elementu konstrukcyjnego oraz jakich jest ono rozmiarów). W tym celu planowane jest obliczeniowe oszacowanie sztywności węzłów na podstawie znanych wzorów, określenie sztywności obrotowych wszystkich sześciu połączeń (bez stosowania założeń o symetrii ramy i identycznym wykonaniu odpowiednich węzłów), a także zmiana modelu numerycznego z prętowego na powłokowy.

Planowane jest zbadanie wpływu sposobu połączenia wzbudnika z badaną

konstrukcją na otrzymywane w trakcie pomiarów parametry dynamiczne konstrukcji.

Podziękowania

Program MATLAB wykorzystany do przeprowadzenia badań został zakupiony w wyniku realizacji Projektu nr UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00 „Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013, Priorytet I. Konkurencyjna i Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.3 Regionalny system innowacji.

Do badań wykorzystano aparaturę zakupioną w projekcie nr POPW.01.03.00-18-012/09 z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

Literatura

- [1] T. Uhl, Komputerowo wspomagana identyfikacja modeli konstrukcji mechanicznych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.
- [2] R. Lewandowski, Dynamika konstrukcji budowlanych, Politechnika Poznańska, Poznań 2006.
- [3] K. Mendrok, Inverse Problem in Structural Health Monitoring, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2010.
- [4] S. Haykin, Neural Networks: a Comprehensive Foundation, Prentice Hall International, Inc., 2nd ed., 1999.
- [5] D. Goldberg, Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 2003
- [7] B. Miller, Dostrajanie modelu matematycznego konstrukcji do modelu fizycznego, praca doktorska, Rzeszów 2001.
- [8] LMS Test.Lab, The LMS Test.Lab Spectral Testing manual, LMS International 2009

UPDATING OF FRAME MODEL USING GENETIC ALGORITHMS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

S u m m a r y

The paper presents a comparison of the results of updating of numerical model to physical model on the example of two-storey frame. Three methods were applied: Trust Region (TR), Genetic Algorithms (AG) and Artificial Neural Networks (ANN). The parameters being updated were the rotational stiffness of beam-to-column connections and column footings. The updating was performed using only natural frequencies or both natural frequencies and mode shapes.

Keywords: Structural Health Monitoring, model updating, genetic algorithms, artificial neural networks

Przesłano do redakcji: 25.11.2014

Przyjęto do druku: 1.12.2015

DOI: 10.7862/rb.2015.173