

dr inż. LESZEK MORZYŃSKI  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Wykorzystanie algorytmów genetycznych do ograniczania zawodowej ekspozycji na hałas

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania algorytmów genetycznych do wspomagania działań związanych z ograniczaniem zawodowej ekspozycji na hałas. Omówiono zasadę działania algorytmów genetycznych oraz podstawowe pojęcia z nimi związane. Zaprezentowano algorytm genetyczny do optymalizacji położenia źródeł hałasu i stanowisk pracy w środowisku pracy pod kątem minimalizacji zagrożenia hałasem pracowników. Przedstawiono przykład programu komputerowego bazującego na zaprezentowanym algorytmie genetycznym oraz uzyskane za jego pomocą wyniki.

## Using genetic algorithms to limit occupational exposure to noise

This article discusses the possibilities of using genetic algorithms to limit occupational exposure to noise. It introduces the principles of operation and the basic terms used in genetic algorithms. The article describes a genetic algorithm for optimizing the location of noise sources and workstations to minimize workers' exposure to noise. It also provides an example of a computer application based on the genetic algorithm and its results.

## Wstęp

Ograniczanie zawodowej ekspozycji na hałas jest obecnie jednym z najważniejszych priorytetów w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy. Wynika to z powszechnego występowania hałasu w środowisku pracy i związanej z tym dużej liczby zatrudnionych w warunkach zagrożenia tym czynnikiem szkodliwym, która według danych GUS [1] w 2010 roku przekraczała 199 tys. osób. Ograniczanie tego zagrożenia polega na zastosowaniu środków technicznych i metod organizacyjnych [2, 3], obejmujących w szczególności:

- wybór procesów i środków pracy stwarzających jak najmniejsze zagrożenie hałasem
- właściwe rozmieszczenie źródeł hałasu (maszyn i urządzeń) i stanowisk pracy, umożliwiające izolację od źródeł hałasu i ograniczające ich oddziaływanie
- zastosowanie obudów dźwiękoizolacyjnych, kabin dźwiękoszczelnych, tłumików, ekranów, materiałów dźwiękochłonnych

– zastosowanie środków ochrony indywidualnej słuchu (nauszników lub wkładek przeciwhałasowych).

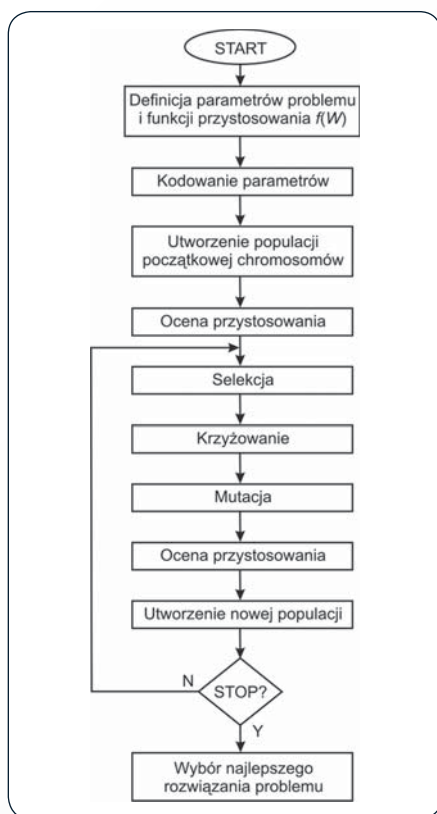
W przypadku dwóch pierwszych z wymienionych metod najlepsze efekty (również w ujęciu ekonomicznym) uzyskuje się stosując je już na etapie projektowania zakładów i procesów pracy. Pozostałe metody mogą być wykorzystane zarówno w zakładach już istniejących, jak i na etapie projektowania nowych. Dla osób projektujących zakład pracy i środki ograniczające hałas znaczącym wsparciem w uzyskaniu jak najmniejszego zagrożenia hałasem mogą być programy komputerowe do prognozowania zagrożenia hałasem. W wielu przypadkach osiągnięcie takiego samego efektu w zakresie minimalizacji zagrożenia hałasem jest możliwe poprzez zastosowanie różnych, alternatywnych środków i metod. W tych przypadkach istotnego znaczenia nabiera aspekt ekonomiczny, czyli koszt rozwiązań koniecznych do ograniczenia ekspozycji pracowników na hałas. Poszukuje się zatem rozwiązania

pozwalającego osiągnąć pożądany efekt przy jak najmniejszych kosztach.

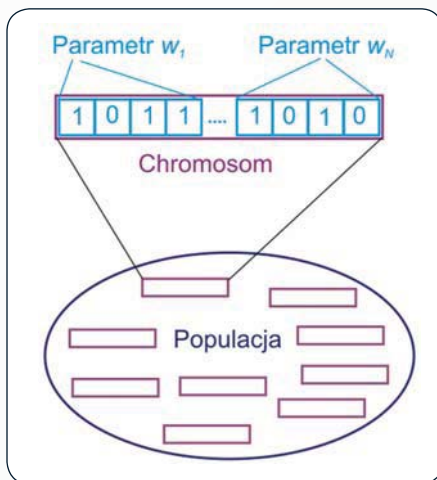
Innym problemem związanym z projektowaniem zabezpieczeń przeciwhałasowych jest fakt, że ich skuteczność często zależy od wielu, niezależnych od siebie czynników, które należy uwzględnić w procesie projektowania. W rozwiązywaniu przedstawionych wyżej problemów pomocne może być zastosowanie tzw. algorytmów genetycznych.

## Algorytmy genetyczne

Algorytmy genetyczne [4, 5] są algorytmami optymalizacji, stosowanymi jako narzędzia pozwalające na odnalezienie najlepszego rozwiązania danego problemu, wykorzystującymi – wzorowane na systemach biologicznych – mechanizmy doboru naturalnego i dziedziczenia. Działanie algorytmu genetycznego przedstawiono na rys. 1. Rozpoczyna się ono od zdefiniowania parametrów problemu oraz funkcji przystosowania,  $f(W)$ , (nazywanej także funkcją celu). Za jej pomocą oceniane



Rys. 1. Schemat działania algorytmu genetycznego  
Fig. 1. Flowchart of a genetic algorithm

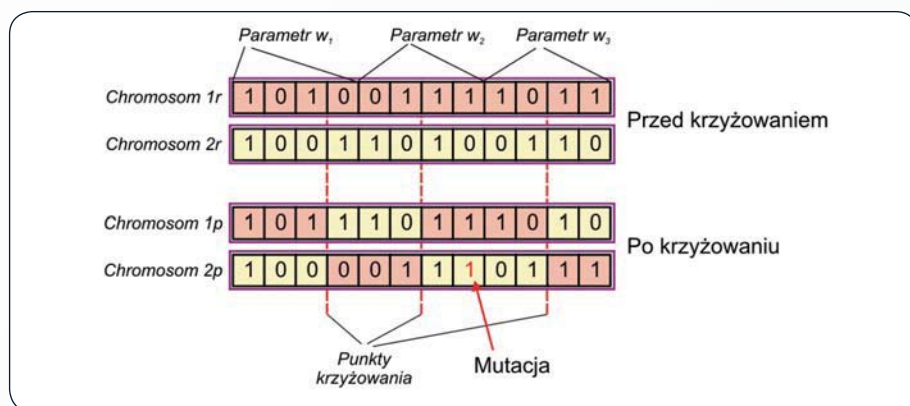


Rys. 2. Sposób kodowania parametrów w chromosomie. Populacja

Fig. 2. Representation of encoded parameters in a chromosome. The population

są rozwiązania stawianego problemu. Funkcja ta powinna być tak zdefiniowana, aby możliwe było dokonanie oceny ilościowej rozwiązań, tzn. określenie, o ile dane rozwiązanie jest lepsze lub gorsze od innych. W dalszej kolejności ustalany jest sposób kodowania parametrów problemu w postaci ciągów (wektorów), nazywanych chromosomami (rys. 2.). Każdy z chromosomów stanowi jedno z możliwych rozwiązań problemu.

Kolejnym krokiem algorytmu jest wygenerowanie w sposób losowy populacji początkowej



Rys. 3. Krzyżowanie i mutacja  
Fig. 3. Crossover and mutation

(rodzicielskiej), zawierającej z góry ustaloną liczbę chromosomów. Zostają one poddane ocenie z wykorzystaniem funkcji przystosowania, w wyniku czego każdemu z nich zostanie przypisana określona wartość przystosowania, co jest następnie wykorzystywane w selekcji chromosomów do operacji krzyżowania. W trakcie selekcji szansa na wylosowanie chromosomu do operacji krzyżowania jest proporcjonalna do posiadanego przystosowania. Oznacza to, że chromosomy o największym przystosowaniu (czyli najlepsze) mogą być wylosowane wielokrotnie, a z drugiej strony – istnieje niezerowe prawdopodobieństwo wylosowania chromosomów o przystosowaniu najmniejszym.

Wybrane w procesie selekcji chromosomy poddawane są krzyżowaniu, polegającemu na wymianie części genów (ciągów kodowych) pomiędzy dwoma chromosomami (rys. 3.), a następnie mutacji, polegającej na losowym wprowadzeniu zmian w chromosomie. Dzięki mutacji możliwe jest zwiększenie „różnorodności genetycznej” chromosomów, czyli przeszukiwanie większego obszaru rozwiązań.

Uzyskane w wyniku operacji krzyżowania i mutacji chromosomy stanowią populację potomną i są poddawane ocenie za pomocą funkcji przystosowania. Uzyskana w ten sposób nowa populacja chromosomów poddawana jest ponownie operacjom selekcji, krzyżowania i mutacji. Proces ten powtarza się aż do spełnienia określonego warunku końca, którym może być np. liczba generacji (iteracji) algorytmu genetycznego. Po zakończeniu działania algorytmu genetycznego wybierane jest najlepsze rozwiązanie problemu na podstawie wartości przystosowania chromosomów.

Algorytmy genetyczne ze względu na przedstawiony powyżej sposób działania i wynikające z niego właściwości algorytmu charakteryzują się dużą efektywnością działania dla problemów wielowymiarowych (o dużej liczbie parametrów) i złożonych funkcji przystosowania. Mogą zatem być stosowane w przypadkach, w których inne metody poszukiwania (analityczne,

enumeratywne) nie mogą być zastosowane lub są nieefektywne. Powoduje to, że są one coraz częściej wykorzystywane w dziedzinie wibroakustyki, m.in. w projektowaniu ekranów akustycznych, tłumików przepływowych, sal teatralnych, identyfikacji źródeł hałasu w zakładzie pracy, czy też opracowywania strategii ograniczania hałasu przy małym budżecie [6].

Przykładem zrealizowanych dotychczas zastosowań jest wykorzystanie algorytmu genetycznego do optymalizacji współczynników filtru stosowanego w systemie aktywnej redukcji hałasu [7]. Inny przykład dotyczy algorytmów genetycznych do minimalizacji zawodowej ekspozycji na hałas [8, 9, 10]. W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki wykorzystania algorytmu genetycznego do optymalizacji położenia źródeł hałasu (maszyn) i/lub stanowisk pracy, w celu ograniczenia narażenia pracowników na hałas.

### Algorytm genetyczny do optymalizacji położenia źródeł hałasu i/lub stanowisk pracy

Jak już wspomniano, właściwe rozmieszczenie maszyn i urządzeń (źródeł hałasu) oraz stanowisk pracy w pomieszczeniach zakładu pracy jest jedną z podstawowych metod ograniczania zawodowej ekspozycji na hałas i przynosi najlepsze efekty, gdy realizowane jest na etapie projektowania zakładu pracy. Zadaniem algorytmu genetycznego wykorzystanego do wspierania tego rodzaju działań jest znalezienie optymalnego rozmieszczenia (w zależności od wybranej opcji) źródeł hałasu bądź stanowisk pracy lub też źródeł hałasu i stanowisk pracy, które dla danego zakładu pracy pozwałoby zminimalizować ryzyko zawodowe związane z ekspozycją na hałas pracowników. Dla tak postawionego zadania optymalizacji parametrami, które należy zakodować w postaci chromosomu  $W$ , na zbiorze których operuje algorytm genetyczny, są współrzędne przestrzenne źródeł hałasu i/

lub stanowisk pracy, których położenie podlega optymalizacji (rys. 4.). W trakcie działania algorytmu genetycznego w chromosomie kodowane są współrzędne tylko tych elementów, których położenie podlega optymalizacji, np. jeżeli poszukujemy możliwie najlepszego położenia źródeł hałasu, kodujemy tylko współrzędne źródeł hałasu; jeżeli poszukujemy optymalnego położenia wybranych stanowisk pracy, w chromosomie kodujemy współrzędne tylko tych stanowisk pracy.

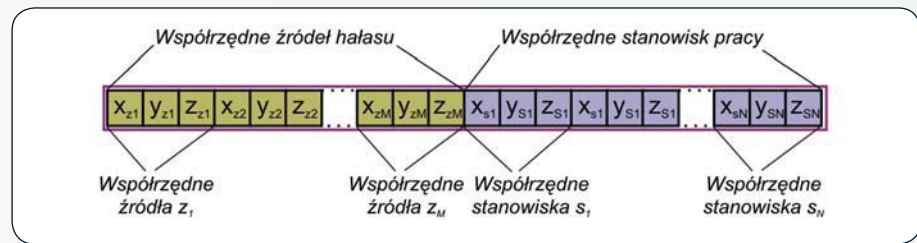
Przyjmując, że zagadnienie optymalizacji dotyczy  $M$  źródeł hałasu i  $N$  stanowisk pracy, chromosom składa się z  $3 \times (N + M)$  zmiennych reprezentujących współrzędne przestrzenne. Każda ze współrzędnych tworzących strukturę chromosomu (dla kierunków  $x, y$  i  $z$ ) jest ciągiem binarnym o określonej długości, w którym zakodowano wartość współrzędnej będącą liczbą rzeczywistą. Długość ciągu kodowego decyduje o rozdzielczości (skoku), z jaką możemy ustalać położenie obiektów w każdym z kierunków.

Drugim ważnym elementem, którego wymaga algorytm genetyczny, jest funkcja przystosowania, którą należało określić w sposób umożliwiający jakościową ocenę otrzymanych rozwiązań. Funkcję tę, w wersji podstawowej, zdefiniowano w sposób następujący:

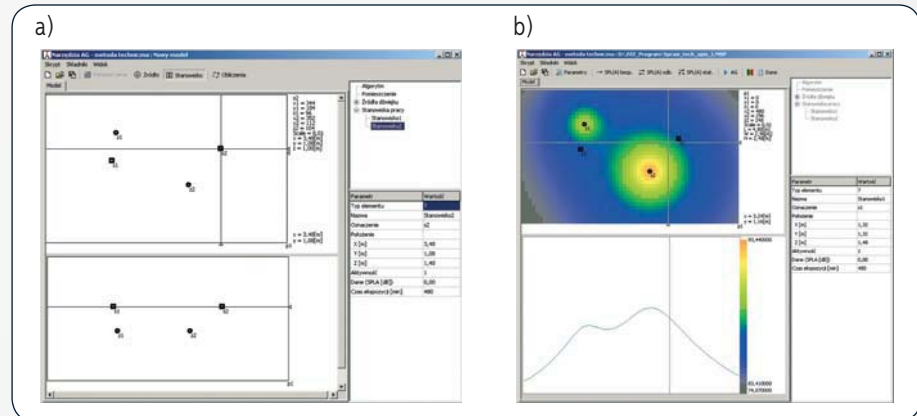
$$f(W) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{10^{\frac{85}{10}}}{10^{\frac{L_{pAi}^{(W)}}{10}}} \right] \quad (1)$$

gdzie  $L_{pAi}^{(W)}$  jest wypadkowym poziomem dźwięku  $A$  na stanowisku pracy o indeksie  $i$ , w dB, wyliczonym na podstawie parametrów akustycznych źródeł hałasu (maszyn) z wykorzystaniem wybranej metody. Funkcja ta jest sumą wskaźników, określonych dla każdego stanowiska pracy, których wartość jest większa od 1 w przypadku stanowiska, na których poziom dźwięku  $A$  hałasu jest mniejszy niż 85 dB i mniejsza od 1 w przypadku stanowisk, na których poziom dźwięku  $A$  hałasu jest większy niż 85 dB. Tak zdefiniowana funkcja przystosowania rośnie zatem odwrotnie proporcjonalnie do narażenia pracowników na hałas.

Niemniej, mimo że spełnia ona warunki nakładane na funkcję przystosowania, nie pozwala na uwzględnienie w algorytmie ograniczeń występujących w rzeczywistym środowisku pracy, związanych np. z położeniem źródeł hałasu i stanowisk pracy względem siebie i względem ścian pomieszczenia pracy. Aby je uwzględnić w procesie optymalizacji, należy je wprowadzić w odpowiedni sposób do funkcji przystosowania, na przykład stosując tzw. funkcję kary  $g(W)$ . Po jej uwzględnieniu, zmodyfikowana funkcja przystosowania  $f_m(W)$  będzie miała postać:



Rys. 4. Struktura chromosomu z zakodowanymi współrzędnymi źródeł hałasu i stanowisk pracy  
Fig. 4. Structure of a chromosome with encoded coordinates of noise sources and workstations



Rys. 5. Wygląd okna programu komputerowego wykorzystującego opracowany algorytm genetyczny – tryb projektowania (a) i tryb obliczeń (b)

Fig. 5. Computer application based on the developed genetic algorithm – design mode (a) and calculation mode

$$f_m(W) = f(W) \cdot g^1(W) \cdot g^2(W) \cdot \dots \cdot g^K(W) \quad (2)$$

gdzie  $f(W)$  jest podstawową funkcją przystosowania opisaną zależnością (1), natomiast  $g^1(W)$ ,  $g^2(W)$ , ...,  $g^K(W)$  są funkcjami kary określonymi dla  $K$  kolejnych ograniczeń.

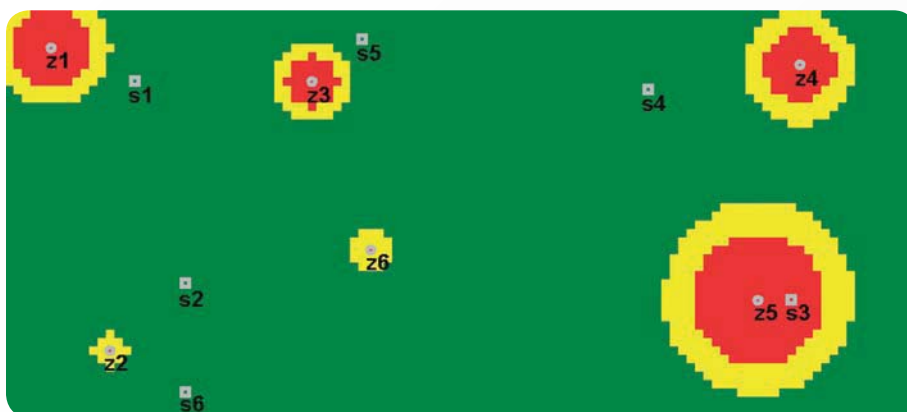
Zastosowanie odpowiedniej funkcji kary, modyfikującej funkcję przystosowania, umożliwia również uwzględnienie w procesie optymalizacji kosztów ekonomicznych proponowanych rozwiązań. Definicje tej funkcji mogą być różne, tak jak różne są czynniki wpływające na koszt rozwiązań. W dalszej części rozważań przyjęto, że zmiana lokalizacji maszyn w pomieszczeniu wiąże się z kosztami ich instalacji, które rosną odwrotnie proporcjonalnie do odległości maszyn od ścian pomieszczenia.

### Zastosowanie algorytmu genetycznego w narzędziach komputerowych

Przedstawiony wyżej algorytm genetyczny przeznaczony jest do zastosowania w programach komputerowych wspomagających ograniczanie zagrożeń hałasem w przedsiębiorstwach produkcyjnych i związanego z tymi zagrożeniami ryzyka zawodowego powstawania trwałych ubytków słuchu. W ramach prac prowadzonych w CIOP-PIB opracowano modele prostych narzędzi komputerowych, które jednocześnie posłużyły weryfikacji opracowanego algorytmu genetycznego poprzez wykonanie szeregu obliczeń testowych dla

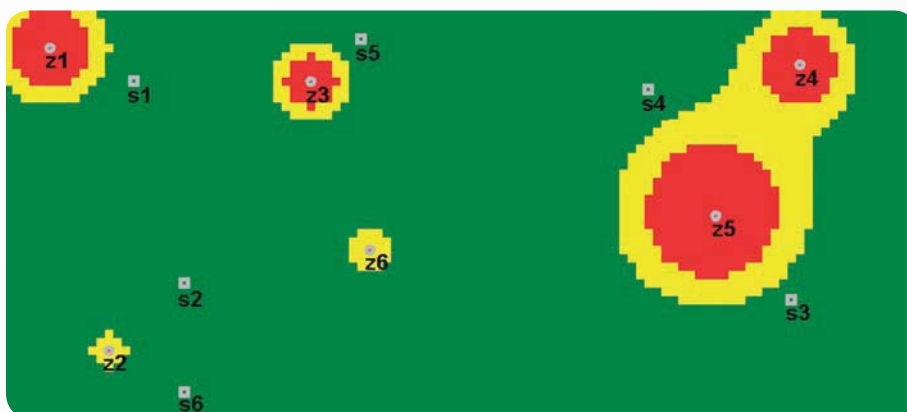
wybranych modeli akustycznego środowiska pracy. Wygląd okna programu do optymalizacji położenia źródeł hałasu i/lub stanowisk pracy przedstawiono na rys. 5. Program ten ma dwa tryby pracy: tryb projektowania modelu środowiska akustycznego (rys. 5a) i tryb obliczeń (rys. 5b).

W trybie projektowania (rys. 5a) użytkownik wprowadza do programu graficzny model akustycznego środowiska pracy, rysując w polu znajdującym się po lewej stronie okna programu kształt pomieszczenia pracy i rozmieszczając w nim źródła hałasu oraz stanowiska pracy. Następnie, przy wykorzystaniu drzewa parametrów, znajdującego się w prawej części okna użytkownik określa istotne parametry źródeł hałasu, pomieszczenia pracy, jak również parametry algorytmu genetycznego oraz parametry decydujące o sposobie wykonywania obliczeń. W trybie obliczeń (rys. 5b) w programie prezentowane są rozkłady poziomów dźwięku  $A$  w przekrojach pomieszczenia (wyznaczone z zastosowaniem wybranej metody), a także wykresy obszarów poziomu ryzyka zawodowego. Pod tym pojęciem rozumiane są obszary pomieszczenia, w których przebywający przez 8 godzin pracownik byłby zagrożony hałasem stwarzającym ryzyko zawodowe danego poziomu (małe, średnie lub duże). W trybie obliczeń przeprowadza się również optymalizację z wykorzystaniem algorytmu genetycznego.



Rys. 6. Obszary o różnym poziomie ryzyka zawodowego w pomieszczeniu dla początkowego ustawienia źródeł hałasu (kolor zielony – ryzyko małe, żółty – średnie, czerwony – duże)

Fig. 6. Areas with different occupational risk in a work room for initial location of noise sources (green – low risk, yellow – medium risk, red – high risk)



Rys. 7. Obszary o różnym poziomie ryzyka zawodowego w pomieszczeniu po optymalizacji położenia źródeł hałasu (kolor zielony – ryzyko małe, żółty – średnie, czerwony – duże)

Fig. 7. Areas with different occupational risk in a work room after optimization of the location of noise sources (green – low risk, yellow – medium risk, red – high risk)

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki działania programu.

Do programu wprowadzono model pomieszczenia o wymiarach 4 x 9 x 3,5 m. Współczynnik pochłaniania dźwięku wszystkich powierzchni wynosi 0,4. W pomieszczeniu znajduje się 6 źródeł hałasu (z1 – z6) o poziomach mocy akustycznej od 80 (z2 i z6) do 92 dB (z5), z których wyznaczane są poziomy dźwięku A na stanowiskach pracy, oraz 6 stanowisk pracy (s1 – s6). Obszary ryzyka zawodowego wyznaczone dla położenia początkowego źródeł hałasu przedstawiono na rys. 6. Na większości stanowisk (z wyjątkiem s3) jest ono małe.

Działanie algorytmu genetycznego zaprezentowano na przykładzie optymalizacji położenia źródła, które na rys. 6. oznaczone jest symbolem z5. Odległość minimalną maszyny od ścian pomieszczenia przyjęto 2 m, a jako minimalne odległości maszyny od pozostałych maszyn i od stanowisk pracy przyjęto 1 m. Współczynnik decydujący o funkcji kary dla kosztu rozwiązania wynosi zaś 0,2 (z przedziału 0,1). Wynik działania algorytmu przedstawiono na rys. 7.

W wyniku działania algorytmu zostało wskazane takie położenie źródła hałasu z5, dla którego poziom ryzyka zawodowego na wszystkich stanowiskach pracy jest mały. Ponadto położenie źródła spełnia narzucone ograniczenia na jego położenie względem innych elementów pomieszczenia oraz pozwala zminimalizować koszt rozwiązania zgodnie z przyjętymi zasadami.

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki prac pokazują, że algorytmy genetyczne są narzędziem optymalizacji, które, odpowiednio wykorzystane, może być bardzo przydatne do wspomaganie działań związanych z ograniczeniem zawodowej ekspozycji na hałas. Zasadnicze znaczenie dla praktycznych możliwości zastosowania algorytmu genetycznego w narzędziach komputerowych wspomagających ograniczanie zawodowej ekspozycji na hałas ma odpowiednie określenie funkcji przystosowania, pozwalające osiągnąć cel optymalizacji przy jednoczesnym uwzględnieniu istniejących ograniczeń rzeczywistego środowiska pracy.

Zaprezentowane w artykule narzędzia komputerowe bazujące na opracowanych algorytmach genetycznych zostały zrealizowane przede wszystkim na potrzeby weryfikacji działania algorytmów genetycznych. Niemniej jednak stanowią one w pełni funkcjonalne programy, które w ograniczonym zakresie mogą być wykorzystywane do wspierania działań związanych z optymalizacją położenia źródeł hałasu i stanowisk pracy pod kątem ograniczania zawodowej ekspozycji na hałas i wynikającego z niej ryzyka zawodowego. Programy te, wraz z opracowanymi algorytmami genetycznymi, stanowią jednocześnie podstawę do opracowywania i rozwoju nowych, bardziej zaawansowanych i funkcjonalnych narzędzi komputerowych, służących ograniczeniu zawodowej ekspozycji na hałas.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] GUS, *Warunki pracy w 2009 r.*, Warszawa 2010
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, DzU nr 157, poz. 1318
- [3] Z. Engel, D. Koradecka, D. Augustyńska, P. Kowalski, L. Morzyński, J. Zera *Zagrożenia wibroakustyczne*, w: Koradecka D. (red.) *Bezpieczeństwo i higiena pracy*. CIOP-PIB, Warszawa 2008
- [4] D. E. Goldberg *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*. Warszawa, WNT, 2003
- [5] T. D. Gwiazda *Algorytmy genetyczne. Kompendium. Tom I: Operator krzyżowania dla problemów numerycznych*. PWN, Warszawa 2007
- [6] K. Asawarungsangkul, S. Nanthavanij, J. Chalidabhongse *Decision Support System for Designing Effective Noise Hazard Prevention Strategies*. "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics" (JOSE), Vol. 13, No. 4, 2007, pp. 451-470
- [7] L. Morzyński *Badania modelu systemu aktywnej redukcji hałasu wykorzystującego materiał inteligentny jako przetwornik wykonawczy*. Materiały XIII Konferencji Naukowej Wibroakustyki i Wibrotechniki WibroTech 2007, Jachranka, 29-30 listopada 2007, str. 217-222
- [8] L. Morzyński *Możliwości zastosowania algorytmów genetycznych do ograniczania zawodowej ekspozycji na hałas*. Materiały 56 Otwartego Seminarium z Akustyki, Goniądz nad Biebrzą, 15-18 września 2009, str. 389-394
- [9] L. Morzyński *The use of genetic algorithms for limitation of occupational exposure to noise – simulation research*. Proc. of 15th International Conference on Noise Control, Noise Control'10, Zamek Książ, Wałbrzych, 6-9 June 2010
- [10] L. Morzyński, P. Górski *Algorytmy genetyczne w ograniczaniu zawodowej ekspozycji na hałas*. Materiały XV Konferencji Naukowej Wibroakustyki i Wibrotechniki WibroTech 2010, Sękocin Stary, 29-30, listopad 2010 r., str. 77-80
- [11] D. Augustyńska, A. Kaczmarska, W. Mikulski, D. Pleban *Hałas*, w: W. M. Zawieska (red.) *Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny*, CIOP-PIB, Warszawa 2007

*Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*