

# KONCEPCJA ZASTOSOWANIA ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH PRZY MODERNIZACJI UKŁADÓW GEOMETRYCZNYCH

---

**Kamila Szwackiewicz**

mgr inż., Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12, tel. 58 348 60 90, kamszwac@pg.gda.pl

---

**Streszczenie.** *W pracy scharakteryzowano zasadę działania algorytmów genetycznych. Pokazano koncepcję zastosowania tych algorytmów przy optymalizacji układów geometrycznych przewidzianych do modernizacji.*

**Słowa kluczowe:** *algorytmy genetyczne, modernizacja, układ geometryczny toru*

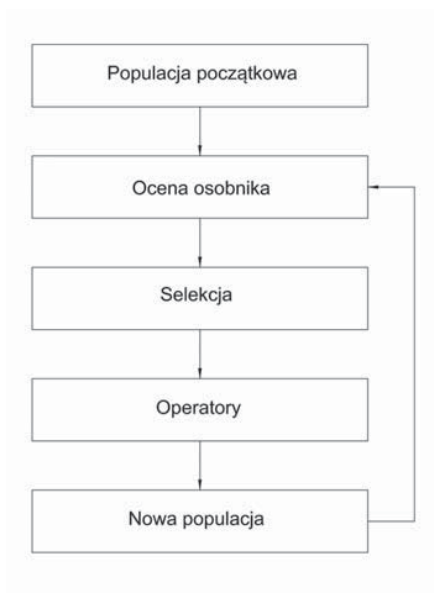
## 1. Wprowadzenie

W Polsce prowadzi się obecnie wiele inwestycji modernizacyjnych w tym między innymi realizacje przebudowy układów geometrycznych toru. Przy projektowaniu nowych rozwiązań korzysta się z doświadczenia projektantów i licznych prac na ten temat [2, 3, 5, 6]. W wyborze lepszego rozwiązania mogą pomóc algorytmy genetyczne. Algorytmami ewolucyjnymi zaczęto interesować się już pod koniec lat 50. XX wieku [7, 10, 8], jednak rozwój obliczeń ewolucyjnych zapoczątkowały opracowania z lat 70. [12, 25, 26]. Publikacje te opisywały podstawy algorytmów genetycznych. Od tego momentu można zauważyć powszechne zainteresowanie tymi zagadnieniami [16, 17, 18, 19, 20]. Ich popularność można zaobserwować w różnych dziedzinach inżynierii. Zastosowanie AG do optymalizacji zagadnień inżynierskich opisują np. [9, 14, 15, 22, 24]. Uniwersalność tych metod powoduje, że są one również wykorzystywane w transporcie szynowym w Polsce [13, 23] i za granicą [21].

## 2. Charakterystyka algorytmu genetycznego

Algorytmy genetyczne (AG) zbudowane zostały na podstawie mechanizmów ewolucyjnych występujących w przyrodzie. Procesy te mają na celu stworzenie populacji składającej się z różnorodnych osobników mniej lub bardziej przystosowanych do przetrwania. W algorytmach tych do potomnej populacji mają zostać skopiiowane najlepsze, czyli najlepiej przystosowane osobniki. Występują tu rów-

niez mechanizmy ewolucyjne podobne do naturalnych. Schemat działania algorytmu genetycznego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat algorytmu genetycznego

### 2.1. Generacja losowej populacji osobników

W pierwszym etapie tworzona jest losowa populacja osobników (chromosomy). Każdy osobnik jest opisywany przez różne geny charakteryzujące jego różnorodne cechy. W klasycznym algorytmie genetycznym osobniki są kodowane binarnie, a więc poszczególne geny przyjmują wartości 0 i 1 [4].

Dla ułatwienia poszukiwań (ukierunkowanie procesu znajdowania optymalnego rozwiązania) populację można zasilić zakodowanym układem istniejącym [13, 23].

### 2.2. Ocena każdego osobnika - ocena dostosowania

Ocena osobnika polega na wyznaczeniu wartości funkcji celu dla każdego osobnika. Narzędziem służącym tej ocenie jest funkcja FF, czyli fitness function. Jej wartość obrazuje dostosowanie danego osobnika do rozwiązywanego zagadnienia [29].

### 2.3. Selekcja

Selekcja jest procedurą mającą na celu wyznaczenie prawdopodobieństwa wybrania osobnika z generacji losowej. Osobniki lepiej przystosowane do przetrwania powinny mieć większe prawdopodobieństwo selekcji, czyli powielania. Selekcja

ukierunkowuje algorytm genetyczny w stronę lepszych rozwiązań [24, 15]. Różniamy podstawowe typy selekcji [1, 11, 19]:

- selekcja ruletkowa (proporcjonalna),
- selekcja rangowa,
- selekcja turniejowa,
- selekcja elitarna.

Jeżeli  $f_i$  jest funkcją przystosowania danego  $i$ -tego osobnika [15] to prawdopodobieństwo selekcji osobnika dane jest wyrażeniem (1):

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (1)$$

gdzie: - suma dostosowań wszystkich osobników populacji

Taki typ selekcji nazywany jest selekcją ruletkową (prawdopodobieństwo wylosowania osobnika można przedstawić jako wycinek koła).

W selekcji rangowej osobniki porządkuje się na podstawie przyznawanych im rang. Postępowanie to nie jest zależne bezpośrednio od przystosowania. Przykładową metodę znalezienia prawdopodobieństwa przedstawia wyrażenie (2):

$$P_i = \frac{i}{\sum_{j=1}^n j} \quad (2)$$

Selekcja turniejowa w pierwszej fazie polega na losowym wyborze pewnej ilości osobników. Następnie osobniki te poddawane są ocenie na podstawie funkcji przystosowania. Turniej wygrywa osobnik z większą wartością przystosowania i jest kopiowany do następnej populacji.

W przypadku selekcji elitarniej w następnej populacji znajdzie się osobnik, który nie został poddany jakimkolwiek modyfikacjom. Strategia ta ma również za zadanie powielenie (do populacji potomnej) najlepszych osobników.

Dla konkretnego zagadnienia każdą z podstawowych metod selekcji można odpowiednio modyfikować [19].

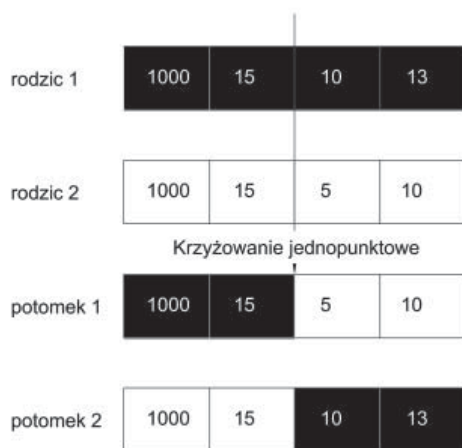
#### 2.4. Operatory: krzyżowanie, mutacja

Krzyżowanie ma na celu stworzenie osobnika potomnego na podstawie złożenia wartości genów osobników z pokolenia rodziców. Zatem operator krzyżowania (rekombinacji) przekazuje (dziedziczy) informacje do następnego pokolenia. Najczęściej w AG w wyniku krzyżowania dwóch osobników rodzicielskich powstają dwa osobniki potomne.

Istnieje wiele metod krzyżowania:

- jednopunktowe,
- dwupunktowe,
- wielopunktowe,
- równomierne.

Spośród nich wybrano rekombinację jednopunktową, która polega na wylosowaniu punktu krzyżowania z określoną częstotliwością krzyżowania. Liczba ta zawiera się w zbiorze  $\langle 1; n-1 \rangle$ , dla którego  $n$  określa ilość genów w chromosomie. W wybranym miejscu rozcina się chromosomy rodzicielskie i łączy pierwszą część chromosomu jednego rodzica z drugą częścią chromosomu drugiego osobnika. Przykład krzyżowania jednopunktowego przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2. Przykład krzyżowania jednopunktowego

Mutacja chromosomu polega na zmianie losowo wybranego genu (mutacja jednopunktowa) z niewielkim prawdopodobieństwem tzn. częstotliwością mutacji. Przed przystąpieniem do mutacji zostaje określony jej regulamin. Opisuje on działanie, jakie należy wykonać na danym genie. Przykład mutacji jednopunktowej przedstawiony jest na rysunku 3.



Rysunek 3. Przykład mutacji jednopunktowej

## 2.5. Nowa populacja

W wyniku działania operatorami powstaje nowa populacja - populacja potomna. Wykonuje się na niej czynności analogiczne do przeprowadzonych na populacji rodzicielskiej.

## 2.6. Zakończenie obliczeń

Czynności przedstawione w punktach 2.1 - 2.5 powtarzane są wielokrotnie. Zakończeniem procesu optymalizacji jest znalezienie najlepszego osobnika. Kryterium zakończenia obliczeń jest trudne do sformułowania [1].

Jednym z prostszych wyznaczników zatrzymania algorytmu jest kryterium czasowe (działanie algorytmu przerywane jest w określonym czasie). Można w tym przypadku założyć ilość pokoleń powstających w algorytmie.

Innym sposobem zakończenia obliczeń jest obserwowanie wyników osiąganych przez algorytm. Zatrzymanie AG następuje wówczas, gdy wartość funkcji oceny osiąga określony poziom lub gdy nie różni się ona znacznie w stosunku do wyników poprzedzających ją pokoleń.

Inne sposoby zakończenia pracy algorytmu zostały sformułowane w pracy [1]

## 3. Cel optymalizacji

Zgodnie z [28] poprzez inwestycje modernizacyjne rozumie się roboty mające na celu uzyskanie podwyższonych, założonych w projekcie parametrów techniczno-eksploatacyjnych. Modernizacja jest realizowana poprzez zmianę układu geometrycznego toru np. zwiększenie promieni łuków, wydłużenie krzywych przejściowych. Zakłada się również możliwość wymiany podstawowych elementów konstrukcyjnych niezależną od stanu nawierzchni. Wynikiem modernizacji powinno być zwiększenie prędkości pojazdów szynowych.

Prędkość determinują następujące parametry łuków poziomych [6]:

- promień,
- przechyłka,
- długość krzywej przejściowej,
- długość części kołowej łuku.

Celem niniejszego opracowania jest zastosowanie algorytmu genetycznego przy modernizacji układów geometrycznych toru. Zakłada się, że efektem modernizacji będzie stworzenie układu zapewniającego zwiększenie prędkości z  $V_{obec}$  do  $V_{proj}$ . Prędkość projektowana powinna być zgodna z typem linii kolejowej [27].

Projektowanie profilu prędkości na modernizowanych liniach wymaga uwzględnienia następujących parametrów (zgodnie z [27]):

- prędkości maksymalnej pociągów pasażerskich i towarowych,
- prędkości minimalnej pociągów towarowych,
- profilu podłużnego linii,
- ograniczeń terenowych - możliwości przesunięcia osi toru,
- lokalizacji miejsc zatrzymania.

Przy modernizacji układu geometrycznego należy również uwzględnić aspekty ekonomiczne. Na zwiększenie kosztu modernizacji wpływają odległości łuku istniejącego od projektowanego i powinny być minimalizowane. Im mniejsze war-

tości przesunięć toru w terenie tym mniejsza ilość robót ziemnych i związanych z nimi kosztów. Minimalizacja tych odległości wpływa korzystnie na aspekty związane z granicami własności gruntów i koniecznością wpasowania się układu w istniejącą infrastrukturę: słupy, obiekty inżynieryjne, itp. [3].

#### 4. Opis układu geometrycznego, budowa osobnika

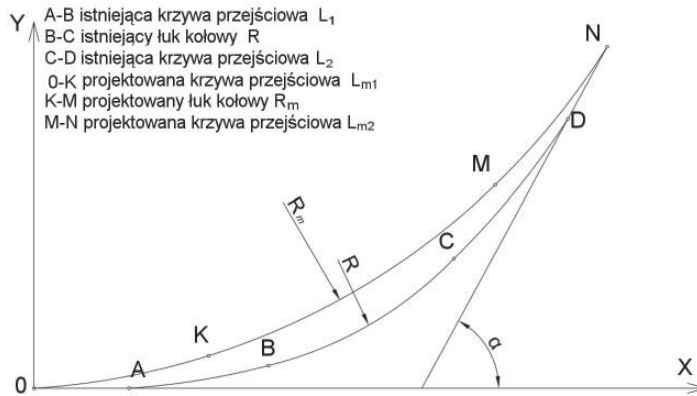
W celu wykonania zadania optymalizacyjnego należy opierać się na pewnych założeniach. Wstępnie przyjęto, że rozpatrywany układ geometryczny (przedstawiony na rysunku 4) opisany jest jednoznacznie poprzez następujące parametry:

- $R$  - obecny promień łuku,
- $L_1, L_2$  - obecne długości krzywych przejściowych,
- $\alpha$  - obecny kąt zwrotu,
- $h$  - przechyłka.

Optymalizując nowo projektowany łuk kołowy z przyległymi krzywymi przejściowymi, szukamy następujących parametrów:

- $R_m$  - nowego promienia łuku,
- $L_{m1}, L_{m2}$  - nowych długości krzywych przejściowych,
- $h_m$  - nowej przechyłki.

Wartości te powinny zapewnić spełnienie warunku  $V \leq V_{proj}$  przy minimalnych kosztach modernizacji.



Rys. 4. Schemat układu geometrycznego

#### 5. Kodowanie osobnika do AG

Przy budowie osobnika należy przyjąć pewne ograniczenia. Zakłada się minimalne i maksymalne wartości promienia, długości krzywej przejściowej. Przechyłka zgodnie z [28] powinna mieścić się w zakresie  $[0,20;25;30;...;135;140;145;150]$

Kodując osobnika w pierwszej kolejności przyjmujemy minimalną długość krzywej (np. 40 m). Gen odpowiadający za długość krzywej przejściowej jest przyrostem w stosunku do wartości minimalnej. Kodowanie długości krzywej jest określone zależnością (3):

$$L_{zakodowane} = \frac{L-40}{5} \quad (3)$$

gdzie: 5 oznacza przyrost długości o 5 m.

Podobnie postępuje się z wartością promienia, jako wartość minimalną przyjmuje się 500 m (4):

$$R_{zakodowane} = \frac{R - 500}{50} \quad (4)$$

gdzie: 50 oznacza przyrost długości o 50 m.

Przechyłka jest opisana przez konkretną liczbę od 0-27 (np. 0 odpowiada wartości 0, 1 odpowiada wartości 20, 2 odpowiada wartości 25 itd.). Przechyłkę zakodowaną można przedstawić zależnościami.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{dla } h = 0 \\ \text{dla pozostałych } h \end{array} \right. \begin{array}{l} h_{zak} = 0 \\ h_{zak} = \frac{h - 15}{5} \end{array} \quad (5)$$

Przykładowy osobnik wstępnie zakodowany będzie wyglądał następująco:

Tab. 1. Postać jawnie zakodowanego osobnika

$R_m$	$L_{m1}$	$L_{m2}$	$h_m$
100	5	10	25

Po rozkodowaniu osobnik będzie posiadał następujące cechy:

- promień łuku  $R_m = 500 + 50 \times 100 = 5500$  m,
- długość pierwszej krzywej przejściowej  $L_1 = 40 + 5 \times 5 = 65$  m,
- długość drugiej krzywej przejściowej  $L_2 = 40 + 10 \times 5 = 90$  m,
- przechyłka  $h_m = 20 + 25 \times 5 = 140$  mm

W AG osobniki kodowane są binarnie, w związku z tym opisywany przykładowo osobnik jest zapisywany w kodzie zero jedynekowym. Gen odpowiadający za promień łuku zakodowany w systemie dziesiętnym ma wartość 100. Zamiana na system binarny przedstawia się następująco:

$$\begin{array}{ll} 100 : 2 = 50, & \text{reszty } 0 \\ 50 : 2 = 25, & \text{reszty } 0 \\ 25 : 2 = 12, & \text{reszty } 1 \\ 12 : 2 = 6, & \text{reszty } 0 \\ 6 : 2 = 3, & \text{reszty } 0 \\ 3 : 2 = 1, & \text{reszty } 1 \\ 1 : 2 = 0, & \text{reszty } 1 \end{array}$$

Zatem 100 w systemie dziesiętnym jest równe 1100100 w systemie binarnym. Analogicznie postępuje się w przypadku pozostałych genów. Postać chromosomu prezentuje tabela 2.

Tab. 2. Postać chromosomu zakodowanego binarnie

100	5	10	25
1100100	101	1010	11001

## 6. Przykład zastosowania

Dany jest układ geometryczny w postaci łuku kołowego z symetrycznymi krzywymi przejściowymi. Należy za pomocą programu MUGO wyznaczyć rozwiązania dopuszczalne, tj. spełniające warunki ograniczające w zakresie przesunięcia w stosunku do istniejącego układu. Przykładowe rozwiązania zamieszczono w tabeli 3.

Tab. 3. Przykładowe rozwiązania

Nr	R [m]	L [m]	h [m]	Max y [m]	V [km/h]
1	950	100	90	-	110
2	1450	150	105	1,925	140
3	1500	150	100	2,067	150
4	1800	160	100	2,942	160
5	1900	170	95	3,389	170
....	....	....	....	....	....

Kolejnym krokiem w omawianej metodzie jest zakodowanie osobników według założeń przedstawionych w punkcie 5. Wynik kodowania przedstawiono w tabeli 4:

Tab. 4. Zakodowane rozwiązania

Nr	$R_m$	$L_{m1}$	$L_{m2}$	$h_m$
1	1001	1100	1100	1111
2	10011	10110	10110	10010
3	10100	10110	10110	10001
4	11010	11000	11000	10001
5	11100	11010	11010	10000
....	.....	.....	.....	.....

Tak zakodowane osobniki mogą być poddane ocenie za pomocą funkcji celu  $FF$  (fitness function). Przykładem takiej funkcji może być równanie, które obrazuje wzajemną relację pomiędzy przesunięciami toru a prędkością, którą dany układ geometryczny determinuje jako dopuszczalną (6). Wyniki uzyskane dla rozpatrywanego przypadku przedstawiono w tablicy 5.



$$FF = \frac{1}{w_{przes} \int_0^l (y_{istn} - y_{proj})^2 - w_{pred} V_{kr}^2} \quad (6)$$

gdzie:

- $w_{przes}$  - waga dotycząca przesunięcia (w przykładzie przyjęto  $w_{przes} = 1$ ),
- $w_{pred}$  - waga dotycząca prędkości (w przykładzie przyjęto  $w_{pred} = 1$ ),
- $V_{kr}$  - prędkość możliwa do osiągnięcia dla danego układu geometrycznego,
- $y_{istn} - y_{proj}$  - maksymalne odległości pomiędzy układem istniejącym i projektowanym.

Tab. 5. Wartości FF dla przykładowych rozwiązań

Nr	FF
1	-0,0000826446281
2	-0,0000580148558
3	-0,0000552503587
4	-0,0000782217369
5	-0,0001558342092
.....	....

Następnym etapem jest selekcja. Prawdopodobieństwo selekcji osobnika (dla przykładowych 5 osobników) opisane równaniem (1) podano w tabeli 6.

Tab. 6. Wartości prawdopodobieństwa selekcji osobnika:

Nr	$p_i$
1	0,192212102
2	0,134929004
3	0,12849943
4	0,18192549
5	0,362433973

Po dokonaniu selekcji należy osobniki poddać mutacji i krzyżowaniu (opis w podpunkcie 2.4). W ten sposób tworzy się następne pokolenie, które podlega ocenie, selekcji, mutacji i krzyżowaniu. Po przeprowadzeniu ustalonej ilości cykli algorytmu otrzymuje się najlepszego osobnika, który stanowi najlepsze dotychczasowe rozwiązanie. Aktualnie trwają prace nad tworzeniem narzędzia, które będzie wykorzystywało algorytmy genetyczne przy modernizacji układów geometrycznych toru.

## 7. Podsumowanie

W pracy scharakteryzowano algorytmy genetyczne, które dzięki swojej uniwersalności są często wykorzystywane do optymalizacji zagadnień inżynierskich. Przedstawiono propozycję wykorzystania AG przy modernizacji układów geometrycznych toru. Zaproponowano sposób kodowania łuku kołowego z symetrycznymi krzywymi przejściowymi.

## Literatura

- [1] Arabas J., Wykłady z algorytmów ewolucyjnych. WNT, Warszawa 2001.
- [2] Bałuch H., Optymalizacja układów geometrycznych toru. WKŁ, Warszawa 1983.
- [3] Bałuch H., Bałuch M., Układy geometryczne toru i ich deformacje. KOW, Warszawa 2010.
- [4] Bereta M., Jarosz P., Algorytmy genetyczne. Zagadnienia sztucznej inteligencji - laboratorium, <http://michalbereta.pl>
- [5] Bogdaniuk B., Modernizacja dróg kolejowych przy ich elektryfikacji. WKŁ, Warszawa 1988.
- [6] Bogdaniuk B., Towpik K., Budowa, modernizacja i naprawy dróg kolejowych. KOW, Warszawa 2010.
- [7] Box G.E.P.: Evolutionary operation: A method for increasing industrial productivity. *Appl. Statistics*, vol. VI, no.2, 1957.
- [8] Bremerman H.J., Optimization through evolution and recombination, in *Self Organizing Systems*. M.C. Yovits et al. Eds. Washington, DC, Spartan, 1962.
- [9] Brzywczy E., Tradycyjne metody optymalizacji a nowoczesna heurystyka w wybranych zagadnieniach modelowania robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, Tom 24, Kraków 2008.
- [10] Friedberg R.M., A learning machine: Part 1, *IBM J.*, vol. 2, no.1, 1958.
- [11] Goldberg D.E., Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. WNT, Warszawa 1995.
- [12] Holland J.H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [13] Koc W., *Elementy teorii projektowania układów torowych*. Wydawnictwo PG, Gdańsk 2004.
- [14] Kosmol J., Wilk P., Próba optymalizacji korpusu obrabiarki z zastosowaniem MES i algorytmu genetycznego. *Modelowanie inżynierskie* 35, s. 59-66, Gliwice 2008
- [15] Kotowski S., *Analiza algorytmów genetycznych, jako układów dynamicznych*. Rozprawa doktorska, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2008.
- [16] Koza J. R., *Genetic Programming*. MIT Press, Cambridge, MA 1992.
- [17] Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*. WNT, Warszawa 1997.
- [18] Michalewicz Z., *Evolutionary computation*. *Statistics and Computing* 4, 1994.
- [19] Michalewicz Z., Fogel D.B., *How to Solve it modern. Heuristics*, Springer, Berlin 2000.

- [20] Michalewicz Z., Shmidt M., Evolutionary Algorithms and Constrained optimization, in Evolutionary Optimization Ed. By R. Sarker, M. Mohamadian, Xin Yao, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [21] Michalewicz Z., Vignaux A., A Genetic Algorithm for the Linear Transportation Problem. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, Vol. 21, No. 2, 1991
- [22] Ortanek P., Hybrid Evolutionary Algorithms in Optimization of Structures under Dynamical Loads, IUTAM Symposium on Evolutionary Methods in Mechanics Solid Mechanics and Its Applications, Volume 117, 2004.
- [23] Palikowska K., Projektowanie układów geometrycznych toru kolejowego z zastosowaniem programowania ewolucyjnego. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2002.
- [24] Pankau R., Optymalne projektowanie układów ramowych z uwzględnieniem problemów stateczności. Rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska, Gdańsk 2010.
- [25] Rechenberg I., Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Stuttgart, Fommann-Holzboog 1973.
- [26] Schwefel H.P., Numerical Optimization of Computer Models. Birkhäuser Verlag, Basel, 1977.
- [27] Standardy techniczne. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) /250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). PKP PLK, Warszawa 2009.
- [28] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych (Id-1), PKP PLK, Warszawa 2004.
- [29] Wierzchoń S.T., Sztuczne systemy immunologiczne. Teoria i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.