*Politechnika Wrocławska  
Wydział Elektroniki*

*Wrocław, dn.17.01.2021r.*

Projektowanie Efektywnych Algorytmów

Zadanie projektowe nr.3

Implementacja i analiza efektywności algorytmu genetycznego

Autor:

*Alicja Myśliwiec 248867*

Termin zajęć:

*Poniedziałek 15.15 – 16.55*

*Prowadzący:*

*Dr inż. Jarosław Mierzwa*

SPIS TREŚCI

[1 Wstęp teoretyczny 4](#_Toc61802278)

[2 Opis implementacji algorytmu 4](#_Toc61802279)

[2.1 Selekcja 4](#_Toc61802280)

[2.2 Krzyżowanie 4](#_Toc61802281)

[2.2.1 OX – Ordered crossover 4](#_Toc61802282)

[2.2.2 PMX – Partially Mapped Crossover 5](#_Toc61802283)

[2.3 Mutacja 6](#_Toc61802284)

[2.3.1 Scramble 6](#_Toc61802285)

[2.3.2 Inversion 6](#_Toc61802286)

[3 Plan projektu 7](#_Toc61802287)

[4 Analiza wyników 8](#_Toc61802288)

[4.1 Plik ftv47.atsp 8](#_Toc61802289)

[4.1.1 Analiza liczebności populacji 8](#_Toc61802290)

[4.1.2 Analiza współczynnika mutacji 10](#_Toc61802291)

[4.1.3 Analiza współczynnika krzyżowania 12](#_Toc61802292)

[4.2 Plik ftv170.atsp 14](#_Toc61802293)

[4.2.1 Analiza liczebności populacji 14](#_Toc61802294)

[4.2.2 Analiza współczynnika mutacji 16](#_Toc61802295)

[4.2.3 Analiza współczynnika krzyżowania 18](#_Toc61802296)

[4.3 Plik rbg403.atsp 20](#_Toc61802297)

[4.3.1 Analiza liczebności populacji 20](#_Toc61802298)

[4.3.2 Analiza współczynnika mutacji 22](#_Toc61802299)

[4.3.3 Analiza współczynnika krzyżowania 24](#_Toc61802300)

[4.4 Porównanie z Tabu Search 26](#_Toc61802301)

[5 Wnioski 27](#_Toc61802302)

[6 Bibliografia 28](#_Toc61802303)

SPIS TABEL:

[Tabela 1: Analiza liczebności populacji – plik ftv47.atsp 8](#_Toc61802304)

[Tabela 2: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv47.atsp 10](#_Toc61802305)

[Tabela 3: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv47.atsp 12](#_Toc61802306)

[Tabela 4: Analiza liczebności populacji – plik ftv170.atsp 14](#_Toc61802307)

[Tabela 5: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv170.atsp 16](#_Toc61802308)

[Tabela 6: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv170.atsp 18](#_Toc61802309)

[Tabela 7: Analiza liczebności populacji – plik rbg403.atsp 20](#_Toc61802310)

[Tabela 8: Analiza współczynnika mutacji – plik rbg403.atsp 22](#_Toc61802311)

[Tabela 9: Analiza współczynnika krzyżowania – plik rbg403.atsp 24](#_Toc61802312)

[Tabela 10: Porównanie z Tabu Search 26](#_Toc61802313)

**SPIS WYKRESÓW:**

[Wykres 1: Analiza liczebności populacji – plik ftv47.atsp 9](#_Toc61802315)

[Wykres 2: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv47.atsp 11](#_Toc61802316)

[Wykres 3: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv47.atsp 13](#_Toc61802317)

[Wykres 4: Analiza liczebności populacji – plik ftv170.atsp 15](#_Toc61802318)

[Wykres 5: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv170.atsp 17](#_Toc61802319)

[Wykres 6: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv170.atsp 19](#_Toc61802320)

[Wykres 7: Analiza liczebności populacji – plik rbg403.atsp 21](#_Toc61802321)

[Wykres 8: Analiza współczynnika mutacji – plik rbg403.atsp 23](#_Toc61802322)

[Wykres 9: Analiza współczynnika krzyżowania – plik rbg403.atsp 25](#_Toc61802323)

# Wstęp teoretyczny

Celem trzeciego zadania projektowego była implementacja i analiza efektywności algorytmu genetycznego. Jest to algorytm heurystyczny, zatem nie mamy gwarancji uzyskania optymalnego i dokładnego rozwiązania. Zasada działania algorytmu opiera się na biologicznym procesie ewolucji, w którym osobniki pewnej populacji krzyżując się ze sobą tworzą potomstwo przekazując mu pewne swoje cechy. W ten sposób powstają nowe osobniki, często lepsze od poprzednich. W przypadku problemu komiwojażera osobnikiem jest ścieżka. Odwzorowanie procesu ewolucji polega na następujących czynnościach:

1. **Wygenerowanie populacji początkowej** – należy określić liczebność populacji i losowo wygenerować zbiór osobników (ścieżek)
2. **Ocena osobników** – na tym etapie oceniamy stopień dopasowania osobników (z ang. fitness). Dla problemu komiwojażera oceną osobnika jest długość ścieżki (im krótsza, tym lepsza)
3. **Selekcja** – wybieramy osobniki najlepiej przystosowane, które znajdą się w następnej populacji. Wyróżniamy różnego rodzaju selekcje m.in. ruletkową, turniejową, wyspową
4. **Krzyżowanie** – proces polegający na łączeniu ze sobą osobników w celu wytworzenia potomków. Sposoby krzyżowania są różne – od wyboru takiego sposobu niekiedy zależy efektywność algorytmu
5. **Mutowanie** – jest to losowa modyfikacja potomka w celu wspomagania eksploracji rozwiązań
6. **Sprawdzenie warunku stopu** – jeśli czas wyznaczony na wykonanie algorytmu dobiegł końca, ewolucja się kończy i zwracamy najlepszego osobnika. Warunkiem stopu może być również nie znalezienie przez dłuższy czas lepszego rozwiązania lub ilość iteracji.

# Opis implementacji algorytmu

## Selekcja

W projekcie została wykorzystana metoda selekcji turniejowej. Do turnieju wybieramy kilka osobników – co najmniej dwóch i wyłaniamy spośród nich zwycięzcę. Zwycięzcą jest osobnik najlepiej przystosowany, czyli o najkrótszej długości ścieżki. Proces selekcji kończy się, gdy ze zwycięskich osobników utworzymy nową populację.

## Krzyżowanie

### OX – Ordered crossover

Metoda krzyżowania OX polega na utworzeniu potomków składających się z odpowiadających sobie losowej długości fragmentów rodziców, a następnie uzupełnianiu ich brakującymi elementami w takiej samej kolejności, w jakiej występują one u drugiego rodzica.

* Wybór osobników do krzyżowania

RODZIC1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)

RODZIC2 = (3 1 6 2 8 7 4 5 9)

* Wylosowanie fragmentu wspólnego

RODZIC1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)

RODZIC2 = (3 1 6 2 8 7 4 5 9)

* Utworzenie potomków z basowych fragmentów

POTOMEK1 = (\_ \_ \_ 4 5 6 7 \_ \_)

POTOMEK2 = (\_ \_ \_ 2 8 7 4 \_ \_)

* Uzupełnienie potomków o brakujące elementy w kolejności odpowiadającej drugiemu rodzicowi

POTOMEK1 = (1 2 8 4 5 6 7 9 3)

POTOMEK2 = (3 5 6 2 8 7 4 9 1)

### PMX – Partially Mapped Crossover

Metoda krzyżowania PMX polega na utworzeniu potomków składających się z odpowiadających sobie losowej długości fragmentów rodziców, a następnie uzupełnianiu ich brakującymi elementami w następujący sposób:

* Wybór osobników do krzyżowania

RODZIC1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)

RODZIC2 = (3 1 6 2 8 7 4 5 9)

* Wylosowanie fragmentu wspólnego i utworzenie tablicy odwzorowań

RODZIC1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)

RODZIC2 = (3 1 6 2 8 7 4 5 9)

Tablica odwzorowań dla pierwszego potomka: [4=>2, 5=>8, 6=>7, 7=>4]

Tablica odwzorowań dla drugiego potomka: [2=>4, 8=>5, 7=>6, 4=>7]

* Utworzenie potomków z basowych fragmentów

POTOMEK1 = (\_ \_ \_ 4 5 6 7 \_ \_)

POTOMEK2 = (\_ \_ \_ 2 8 7 4 \_ \_)

* Uzupełnienie potomków o brakujące elementy, które nie powodują konfliktów z drugiego rodzica. W przypadku wystąpienia konfliktu korzystamy z tablicy odwzorowań.
  + 5 przechodzi na 8: POTOMEK1 = (\_ \_ \_ 4 5 6 7 8 \_)
  + 9 nie powoduje konfliktu: POTOMEK1 = (\_ \_ \_ 4 5 6 7 8 9)
  + 3 nie powoduje konfliktu: POTOMEK1 = (3 \_ \_ 4 5 6 7 8 9)
  + 1 nie powoduje konfliktu: POTOMEK1 = (3 1 \_ 4 5 6 7 8 9)
  + 6 przechodzi na 7, 7 przechodzi na 4, 4 przechodzi na 2: (3 1 2 4 5 6 7 8 9)
  + 8 przechodzi na 5: POTOMEK2 = (\_ \_ \_ 2 8 7 4 5 \_)
  + 9 nie powoduje konfliktu: POTOMEK2 = (\_ \_ \_ 2 8 7 4 5 9)
  + 1 nie powoduje konfliktu: POTOMEK2 = (1 \_ \_ 2 8 7 4 5 9)
  + 2 przechodzi na 4, 4 przechodzi na 7, 7 przechodzi na 6: POTOMEK2 = (1 6 \_ 2 8 7 4 5 9)
  + 3 nie powoduje konfliktu: POTOMEK2 = (1 6 3 2 8 7 4 5 9)

## Mutacja

### Scramble

Ten rodzaj mutacji losowo wybiera z chromosomu 2 wierzchołki i zamienia je miejscami. Możemy wybierać więcej wierzchołków i je mieszać.

(1 2 3 4 5 6 7 8 9) => (1 2 3 8 5 6 7 4 9)

### Inversion

Mutacja poprzez inwersję wybiera losowo dwie pozycje w chromosomie i odwraca kolejność wierzchołków pomiędzy nimi.

(1 2 3 4 5 6 7 8 9) => (1 2 3 8 7 6 5 4 9)

# Plan projektu

Projekt został napisany w języku C++. Zadanie polegało na obliczeniu błędów względnych w funkcji czasu ich wykonania dla trzech instancji problemu komiwojażera. Dla każdej instancji problemu, kryterium stopu zostało ustawione na 6 minut. Badane wielkości populacji to: 200, 1000 i 5000. Początkowo współczynnik krzyżowania został ustawiony na 0.8, a współczynnik mutacji na 0.01. Dla każdego pliku została wyłoniona najlepsza wielkość populacji i dla tej wielkości został zbadany wpływ współczynnika krzyżowania oraz mutacji. Wybrane współczynniki krzyżowania: 0.5, 0.7, 0.9. Wybrane współczynniki mutacji: 0.01, 0.05, 0.10. Najważniejsze klasy w projekcie:

* **Graf** – ta klasa reprezentuje miasta i odległości między nimi. Ma funkcję pozwalającą wczytać graf z pliku oraz wyświetlenie grafu.
* **Menu** – dzięki tej klasie widzimy menu startowe projektu. Mamy możliwość wczytania danych z pliku, wyświetlenie grafu, ustawienia parametrów i wywołania algorytmu.
* **Genetyczny** – klasa odpowiadająca za algorytm genetyczny. Posiada metody krzyżowania, mutacji oraz sposób selekcji.

# Analiza wyników

## Plik ftv47.atsp

### Analiza liczebności populacji

Tabela 1: Analiza liczebności populacji – plik ftv47.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 2369 | 33,39 |
| 120 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 1903 | 7,15 |
| 180 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 1902 | 7,09 |
| 240 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 1902 | 7,09 |
| 300 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 1902 | 7,09 |
| 360 | 2066 | 16,33 | 1987 | 11,88 | 1902 | 7,09 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2628 | 47,97 | 2586 | 45,61 | 2549 | 43,52 |
| 120 | 2628 | 47,97 | 2506 | 41,10 | 2504 | 40,99 |
| 180 | 2628 | 47,97 | 2506 | 41,10 | 2504 | 40,99 |
| 240 | 2628 | 47,97 | 2506 | 41,10 | 2504 | 40,99 |
| 300 | 2628 | 47,97 | 2506 | 41,10 | 2504 | 40,99 |
| 360 | 2628 | 47,97 | 2506 | 41,10 | 2504 | 40,99 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2031 | 14,36 | 2057 | 15,82 | 2180 | 22,75 |
| 120 | 2031 | 14,36 | 1998 | 12,50 | 1885 | 6,14 |
| 180 | 2031 | 14,36 | 1998 | 12,50 | 1885 | 6,14 |
| 240 | 2031 | 14,36 | 1998 | 12,50 | 1885 | 6,14 |
| 300 | 2031 | 14,36 | 1998 | 12,50 | 1885 | 6,14 |
| 360 | 2031 | 14,36 | 1998 | 12,50 | 1885 | 6,14 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2419 | 36,20 |
| 120 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2340 | 31,76 |
| 180 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2340 | 31,76 |
| 240 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2340 | 31,76 |
| 300 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2340 | 31,76 |
| 360 | 3616 | 103,60 | 2806 | 58,00 | 2340 | 31,76 |

Na podstawie wyników do dalszej analizy została wybrana populacja o liczebności 5000.

Wykres 1: Analiza liczebności populacji – plik ftv47.atsp

### Analiza współczynnika mutacji

Tabela 2: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv47.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2104 | 18,47 | 2058 | 15,88 | 1971 | 10,98 |
| 120 | 1939 | 9,18 | 1821 | 2,53 | 1777 | 0,06 |
| 180 | 1939 | 9,18 | 1821 | 2,53 | 1777 | 0,06 |
| 240 | 1939 | 9,18 | 1821 | 2,53 | 1777 | 0,06 |
| 300 | 1939 | 9,18 | 1821 | 2,53 | 1777 | 0,06 |
| 360 | 1939 | 9,18 | 1821 | 2,53 | 1777 | 0,06 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2348 | 32,21 | 2418 | 36,15 | 2547 | 43,41 |
| 120 | 2348 | 32,21 | 2392 | 34,68 | 2547 | 43,41 |
| 180 | 2348 | 32,21 | 2392 | 34,68 | 2547 | 43,41 |
| 240 | 2348 | 32,21 | 2392 | 34,68 | 2547 | 43,41 |
| 300 | 2348 | 32,21 | 2392 | 34,68 | 2547 | 43,41 |
| 360 | 2348 | 32,21 | 2392 | 34,68 | 2547 | 43,41 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 1990 | 12,05 | 2026 | 14,08 | 1992 | 12,16 |
| 120 | 1850 | 4,17 | 1862 | 4,84 | 1824 | 2,70 |
| 180 | 1850 | 4,17 | 1862 | 4,84 | 1824 | 2,70 |
| 240 | 1850 | 4,17 | 1862 | 4,84 | 1824 | 2,70 |
| 300 | 1850 | 4,17 | 1862 | 4,84 | 1824 | 2,70 |
| 360 | 1850 | 4,17 | 1862 | 4,84 | 1824 | 2,70 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |
| 120 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |
| 180 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |
| 240 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |
| 300 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |
| 360 | 3032 | 70,72 | 2602 | 46,51 | 2471 | 39,13 |

Wykres 2: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv47.atsp

### Analiza współczynnika krzyżowania

Tabela 3: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv47.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2067 | 16,39 | 2002 | 12,73 | 1881 | 5,91 |
| 120 | 1995 | 12,33 | 2002 | 12,73 | 1840 | 3,60 |
| 180 | 1995 | 12,33 | 2002 | 12,73 | 1840 | 3,60 |
| 240 | 1995 | 12,33 | 1976 | 11,26 | 1840 | 3,60 |
| 300 | 1995 | 12,33 | 1976 | 11,26 | 1840 | 3,60 |
| 360 | 1995 | 12,33 | 1976 | 11,26 | 1840 | 3,60 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2413 | 35,87 |
| 120 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2290 | 28,94 |
| 180 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2290 | 28,94 |
| 240 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2290 | 28,94 |
| 300 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2290 | 28,94 |
| 360 | 2380 | 34,00 | 2326 | 30,97 | 2290 | 28,94 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2004 | 12,84 | 1917 | 7,94 | 1877 | 5,69 |
| 120 | 2004 | 12,84 | 1887 | 6,25 | 1812 | 2,03 |
| 180 | 2004 | 12,84 | 1887 | 6,25 | 1812 | 2,03 |
| 240 | 2004 | 12,84 | 1887 | 6,25 | 1812 | 2,03 |
| 300 | 2004 | 12,84 | 1887 | 6,25 | 1812 | 2,03 |
| 360 | 2004 | 12,84 | 1887 | 6,25 | 1812 | 2,03 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |
| 120 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |
| 180 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |
| 240 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |
| 300 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |
| 360 | 2818 | 58,67 | 2807 | 58,05 | 2758 | 55,29 |

Wykres 3: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv47.atsp

## Plik ftv170.atsp

### Analiza liczebności populacji

Tabela 4: Analiza liczebności populacji – plik ftv170.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 9727 | 253,07 | 14701 | 433,61 | 19903 | 622,43 |
| 120 | 7616 | 176,44 | 11632 | 322,21 | 18492 | 571,22 |
| 180 | 7278 | 164,17 | 9482 | 244,17 | 17251 | 526,17 |
| 240 | 7228 | 162,36 | 7768 | 181,96 | 15952 | 479,02 |
| 300 | 7134 | 158,95 | 6455 | 134,30 | 14466 | 425,08 |
| 360 | 7028 | 155,10 | 5776 | 109,66 | 13047 | 373,58 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 13542 | 391,54 | 13757 | 399,35 | 20143 | 631,14 |
| 120 | 12191 | 342,50 | 11949 | 333,72 | 17680 | 541,74 |
| 180 | 11318 | 310,82 | 10575 | 283,85 | 15189 | 451,32 |
| 240 | 10734 | 289,62 | 9912 | 259,78 | 13601 | 393,68 |
| 300 | 10356 | 275,90 | 9599 | 248,42 | 12139 | 340,62 |
| 360 | 9923 | 260,18 | 9019 | 227,37 | 11416 | 314,37 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 8136 | 195,32 | 14747 | 435,28 | 19828 | 619,71 |
| 120 | 7688 | 179,06 | 10485 | 280,58 | 17729 | 543,52 |
| 180 | 7688 | 179,06 | 8047 | 192,09 | 16827 | 510,78 |
| 240 | 7688 | 179,06 | 6524 | 136,81 | 15415 | 459,53 |
| 300 | 7688 | 179,06 | 5755 | 108,89 | 13984 | 407,59 |
| 360 | 7688 | 179,06 | 5209 | 89,07 | 13094 | 375,28 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 15393 | 458,73 | 14419 | 423,38 | 20426 | 641,42 |
| 120 | 14539 | 427,73 | 13465 | 388,75 | 18247 | 562,32 |
| 180 | 14023 | 409,00 | 12519 | 354,41 | 15664 | 468,57 |
| 240 | 13056 | 373,90 | 12282 | 345,81 | 13694 | 397,06 |
| 300 | 12931 | 369,36 | 12080 | 338,48 | 12212 | 343,27 |
| 360 | 12842 | 366,13 | 11910 | 332,30 | 11571 | 320,00 |

Na podstawie wyników do dalszej analizy została wybrana populacja o liczebności 1000.

Wykres 4: Analiza liczebności populacji – plik ftv170.atsp

### Analiza współczynnika mutacji

Tabela 5: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv170.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 17086 | 520,18 | 15597 | 466,13 | 16630 | 503,63 |
| 120 | 13630 | 394,74 | 12297 | 346,35 | 13223 | 379,96 |
| 180 | 10578 | 283,96 | 10044 | 264,57 | 11155 | 304,90 |
| 240 | 8848 | 221,16 | 8891 | 222,72 | 9453 | 243,12 |
| 300 | 7460 | 170,78 | 7961 | 188,97 | 7614 | 176,37 |
| 360 | 6560 | 138,11 | 7238 | 162,72 | 6414 | 132,81 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 15017 | 445,08 | 13978 | 407,37 | 13177 | 378,29 |
| 120 | 12574 | 356,41 | 10783 | 291,40 | 9407 | 241,45 |
| 180 | 11648 | 322,79 | 9123 | 231,14 | 7971 | 189,33 |
| 240 | 10976 | 298,40 | 8278 | 200,47 | 7693 | 179,24 |
| 300 | 10551 | 282,98 | 7893 | 186,50 | 7372 | 167,59 |
| 360 | 10146 | 268,28 | 7787 | 182,65 | 7253 | 163,27 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 16041 | 482,25 | 16958 | 515,54 | 15572 | 465,23 |
| 120 | 12089 | 338,80 | 13105 | 375,68 | 11839 | 329,73 |
| 180 | 9934 | 260,58 | 11083 | 302,29 | 9720 | 252,81 |
| 240 | 8525 | 209,44 | 9672 | 251,07 | 8012 | 190,82 |
| 300 | 7371 | 167,55 | 8311 | 201,67 | 7041 | 155,57 |
| 360 | 6494 | 135,72 | 7198 | 161,27 | 6270 | 127,59 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 15239 | 453,14 | 15500 | 462,61 | 14297 | 418,95 |
| 120 | 14573 | 428,97 | 12849 | 366,39 | 12634 | 358,58 |
| 180 | 14115 | 412,34 | 12369 | 348,97 | 11854 | 330,27 |
| 240 | 13764 | 399,60 | 11671 | 323,63 | 11381 | 313,10 |
| 300 | 13570 | 392,56 | 11635 | 322,32 | 11296 | 310,02 |
| 360 | 13155 | 377,50 | 11559 | 319,56 | 11260 | 308,71 |

Wykres 5: Analiza współczynnika mutacji – plik ftv170.atsp

### Analiza współczynnika krzyżowania

Tabela 6: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv170.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 12392 | 349,80 | 13114 | 376,01 | 14807 | 437,46 |
| 120 | 8401 | 204,94 | 10007 | 263,23 | 11385 | 313,25 |
| 180 | 6547 | 137,64 | 7695 | 179,31 | 8865 | 221,78 |
| 240 | 6010 | 118,15 | 6615 | 140,11 | 7508 | 172,52 |
| 300 | 5982 | 117,13 | 6227 | 126,03 | 6498 | 135,86 |
| 360 | 5967 | 116,59 | 5904 | 114,30 | 5948 | 115,90 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 12096 | 339,06 | 12754 | 362,94 | 13435 | 387,66 |
| 120 | 10423 | 278,33 | 11004 | 299,42 | 11558 | 319,53 |
| 180 | 9560 | 247,01 | 9835 | 256,99 | 10566 | 283,52 |
| 240 | 8846 | 221,09 | 9404 | 241,34 | 10088 | 266,17 |
| 300 | 8533 | 209,73 | 9223 | 234,77 | 9714 | 252,60 |
| 360 | 8490 | 208,17 | 9029 | 227,73 | 9348 | 239,31 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 11336 | 311,47 | 13602 | 393,72 | 14845 | 438,84 |
| 120 | 7805 | 183,30 | 9856 | 257,75 | 10198 | 270,16 |
| 180 | 6158 | 123,52 | 8845 | 221,05 | 8036 | 191,69 |
| 240 | 5896 | 114,01 | 6615 | 140,11 | 6352 | 130,56 |
| 300 | 5896 | 114,01 | 6283 | 128,06 | 5478 | 98,84 |
| 360 | 5865 | 112,89 | 5865 | 112,89 | 5128 | 86,13 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 14724 | 434,45 | 14833 | 438,40 | 14113 | 412,27 |
| 120 | 13732 | 398,44 | 13916 | 405,12 | 13255 | 381,13 |
| 180 | 13664 | 395,97 | 13647 | 395,35 | 12835 | 365,88 |
| 240 | 13391 | 386,06 | 13602 | 393,72 | 12473 | 352,74 |
| 300 | 13154 | 377,46 | 13343 | 384,32 | 12345 | 348,09 |
| 360 | 12756 | 363,01 | 13040 | 373,32 | 12345 | 348,09 |

Wykres 6: Analiza współczynnika krzyżowania – plik ftv170.atsp

## Plik rbg403.atsp

### Analiza liczebności populacji

Tabela 7: Analiza liczebności populacji – plik rbg403.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5781 | 134,52 | 6773 | 174,77 | 6933 | 181,26 |
| 120 | 5268 | 113,71 | 6500 | 163,69 | 6863 | 178,42 |
| 180 | 4898 | 98,70 | 6210 | 151,93 | 6776 | 174,89 |
| 240 | 4677 | 89,74 | 5943 | 141,10 | 6690 | 171,40 |
| 300 | 4475 | 81,54 | 5742 | 132,94 | 6574 | 166,69 |
| 360 | 4291 | 74,08 | 5531 | 124,38 | 6459 | 162,03 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5755 | 133,47 | 6740 | 173,43 | 6909 | 180,28 |
| 120 | 5453 | 121,22 | 6335 | 157,00 | 6785 | 175,25 |
| 180 | 5191 | 110,59 | 5859 | 137,69 | 6650 | 169,78 |
| 240 | 5016 | 103,49 | 5478 | 122,23 | 6602 | 167,83 |
| 300 | 4836 | 96,19 | 5351 | 117,08 | 6543 | 165,44 |
| 360 | 4737 | 92,17 | 5251 | 113,02 | 6343 | 157,32 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5651 | 129,25 | 6688 | 171,32 | 6985 | 183,37 |
| 120 | 5104 | 107,06 | 6373 | 158,54 | 6885 | 179,31 |
| 180 | 4750 | 92,70 | 6034 | 144,79 | 6786 | 175,29 |
| 240 | 4517 | 83,25 | 5742 | 132,94 | 6648 | 169,70 |
| 300 | 4286 | 73,87 | 5555 | 125,35 | 6619 | 168,52 |
| 360 | 4129 | 67,51 | 5388 | 118,58 | 6524 | 164,67 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Liczebność populacji | 200 | | 1000 | | 5000 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 6049 | 145,40 | 6786 | 175,29 | 6976 | 183,00 |
| 120 | 5981 | 142,64 | 6451 | 161,70 | 6881 | 179,15 |
| 180 | 5942 | 141,05 | 6129 | 148,64 | 6790 | 175,46 |
| 240 | 5932 | 140,65 | 5726 | 132,29 | 6709 | 172,17 |
| 300 | 5893 | 139,07 | 5464 | 121,66 | 6661 | 170,22 |
| 360 | 5821 | 136,15 | 5403 | 119,19 | 6601 | 167,79 |

Na podstawie wyników do dalszej analizy została wybrana populacja o liczebności 200.

Wykres 7: Analiza liczebności populacji – plik rbg403.atsp

### Analiza współczynnika mutacji

Tabela 8: Analiza współczynnika mutacji – plik rbg403.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5861 | 137,77 | 5592 | 126,86 | 5620 | 127,99 |
| 120 | 5229 | 112,13 | 5043 | 104,58 | 5087 | 106,37 |
| 180 | 4869 | 97,53 | 4681 | 89,90 | 4717 | 91,36 |
| 240 | 4568 | 85,31 | 4472 | 81,42 | 4464 | 81,10 |
| 300 | 4344 | 76,23 | 4318 | 75,17 | 4287 | 73,91 |
| 360 | 4173 | 69,29 | 4140 | 67,95 | 4137 | 67,83 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5983 | 142,72 | 5763 | 133,79 | 5809 | 135,66 |
| 120 | 5751 | 133,31 | 5154 | 109,09 | 5260 | 113,39 |
| 180 | 5375 | 118,05 | 4781 | 93,96 | 4823 | 95,66 |
| 240 | 5166 | 109,57 | 4565 | 85,19 | 4628 | 87,75 |
| 300 | 4944 | 100,57 | 4398 | 78,42 | 4417 | 79,19 |
| 360 | 4820 | 95,54 | 4211 | 70,83 | 4230 | 71,60 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5628 | 128,32 | 5427 | 120,16 | 5375 | 118,05 |
| 120 | 4948 | 100,73 | 4919 | 99,55 | 4664 | 89,21 |
| 180 | 4601 | 86,65 | 4611 | 87,06 | 4278 | 73,55 |
| 240 | 4359 | 76,84 | 4365 | 77,08 | 4043 | 64,02 |
| 300 | 4203 | 70,51 | 4187 | 69,86 | 3845 | 55,98 |
| 360 | 4034 | 63,65 | 4041 | 63,94 | 3724 | 51,08 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik mutacji | 0.01 | | 0.05 | | 0.10 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5794 | 135,05 | 6020 | 144,22 | 5967 | 142,07 |
| 120 | 5765 | 133,87 | 5872 | 138,22 | 5741 | 132,90 |
| 180 | 5699 | 131,20 | 5824 | 136,27 | 5655 | 129,41 |
| 240 | 5699 | 131,20 | 5803 | 135,42 | 5608 | 127,51 |
| 300 | 5688 | 130,75 | 5748 | 133,18 | 5587 | 126,65 |
| 360 | 5661 | 129,66 | 5666 | 129,86 | 5567 | 125,84 |

Wykres 8: Analiza współczynnika mutacji – plik rbg403.atsp

### Analiza współczynnika krzyżowania

Tabela 9: Analiza współczynnika krzyżowania – plik rbg403.atsp

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5299 | 114,97 | 5429 | 120,24 | 5616 | 127,83 |
| 120 | 4843 | 96,47 | 4755 | 92,90 | 5020 | 103,65 |
| 180 | 4517 | 83,25 | 4578 | 85,72 | 4632 | 87,91 |
| 240 | 4194 | 70,14 | 4411 | 78,95 | 4393 | 78,22 |
| 300 | 3993 | 61,99 | 4218 | 71,12 | 4190 | 69,98 |
| 360 | 3834 | 55,54 | 4044 | 64,06 | 4038 | 63,81 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Scramble | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5658 | 129,53 | 5893 | 139,07 | 5693 | 130,95 |
| 120 | 5213 | 111,48 | 5475 | 122,11 | 5421 | 119,92 |
| 180 | 4999 | 102,80 | 5178 | 110,06 | 5129 | 108,07 |
| 240 | 4815 | 95,33 | 4687 | 90,14 | 4888 | 98,30 |
| 300 | 4682 | 89,94 | 4586 | 86,04 | 4761 | 93,14 |
| 360 | 4548 | 84,50 | 4533 | 83,89 | 4657 | 88,92 |
| Krzyżowanie: OX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 5064 | 105,44 | 5261 | 113,43 | 5691 | 130,87 |
| 120 | 4501 | 82,60 | 4614 | 87,18 | 5388 | 118,58 |
| 180 | 4133 | 67,67 | 4275 | 73,43 | 5375 | 118,05 |
| 240 | 3874 | 57,16 | 4046 | 64,14 | 5322 | 115,90 |
| 300 | 3704 | 50,26 | 3861 | 56,63 | 4772 | 93,59 |
| 360 | 3567 | 44,71 | 3700 | 50,10 | 4466 | 81,18 |
| Krzyżowanie: PMX  Mutacja: Inversion | | | | | | |
| Współczynnik krzyżowania | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | |
| Czas[s] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] | Rozwiązanie | Błąd[%] |
| 60 | 6242 | 153,23 | 5942 | 141,05 | 5924 | 140,32 |
| 120 | 6203 | 151,64 | 5811 | 135,74 | 5816 | 135,94 |
| 180 | 6191 | 151,16 | 5802 | 135,38 | 5764 | 133,83 |
| 240 | 6145 | 149,29 | 5770 | 134,08 | 5753 | 133,39 |
| 300 | 6058 | 145,76 | 5757 | 133,55 | 5730 | 132,45 |
| 360 | 6058 | 145,76 | 5722 | 132,13 | 5676 | 130,26 |

Wykres 9: Analiza współczynnika krzyżowania – plik rbg403.atsp

## Porównanie z Tabu Search

Tabela 10: Porównanie z Tabu Search

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Ftv47.atsp | Ftv170.atsp | Rbg403.atsp |
| Tabu Search | 1945 | 5507 | 2694 |
| Algorytm Genetyczny | 1777 (po 2 minutach) | 4361 (po 12 minutach) | 3051 (po godzinie) |

**Ftv47.atsp:**

2 – 41 – 43 – 22 – 40 – 20 – 0 – 25 – 1 – 9 – 33 – 27 – 3 – 24 – 4 – 29 – 30 – 5 – 31 – 6 – 10 – 8 – 11 – 37 – 38 – 18 – 17 – 12 – 32 – 7 – 23 – 34 – 13 – 46 – 36 – 14 – 35 – 15 – 16 – 45 – 39 – 19 – 44 – 21 – 47 – 26 – 42 – 28 – 2

**Ftv170.atps:**

70 – 69 – 66 – 63 – 64 – 56 – 58 – 57 – 62 – 86 – 93 – 166 – 107 – 106 – 105 – 100 – 101 – 102 – 114 – 115 – 116 – 119 – 124 – 128 – 131 – 133 – 134 – 142 – 152 – 160 – 150 – 161 – 151 – 15 – 159 – 16 – 18 – 19 – 37 – 75 – 168 – 61 – 92 – 91 – 94 – 165 – 163 – 99 – 103 – 117 – 118 – 120 – 121 – 122 – 123 – 162 – 104 – 109 – 127 – 126 – 125 – 137 – 147 – 138 – 139 – 141 – 6 – 7 – 14 – 13 – 17 – 21 – 32 – 158 – 36 – 157 – 33 – 31 – 155 – 156 – 40 – 46 – 47 – 48 – 51 – 68 – 67 – 85 – 71 – 38 – 39 – 34 – 35 – 41 – 42 – 45 – 44 – 52 – 53 – 43 – 55 – 54 – 59 – 60 – 50 – 49 – 170 – 73 – 77 – 1 – 9 – 4 – 10 – 76 – 74 – 11 – 12 – 20 – 30 – 28 – 29 – 22 – 23 – 26 – 27 – 24 – 25 – 149 – 148 – 140 – 113 – 164 – 130 – 135 – 136 – 129 – 146 – 145 – 144 – 143 – 8 – 2 – 3 – 5 – 169 – 112 – 132 – 111 – 81 – 80 – 79 – 82 – 78 – 72 – 0 – 110 – 108 – 83 – 84 – 65 – 154 – 89 – 95 – 96 – 97 – 98 – 90 – 88 – 153 – 87 – 167 – 70

**Rbg403.atsp:**

5 – 133 – 93 – 349 – 29 – 235 – 121 – 275 – 147 – 164 – 25 – 341 – 372 – 41 – 241 – 112 – 47 – 19 – 297 – 82 – 161 – 110 – 141 – 392 – 351 – 281 – 360 – 69 – 245 – 81 – 22 – 21 – 402 – 211 – 122 – 40 – 263 – 268 – 292 – 329 – 286 – 49 – 37 – 166 – 199 – 388 – 348 – 290 – 248 – 63 – 57 – 364 – 345 – 378 – 71 – 134 – 243 – 24 – 13 – 205 – 265 – 326 – 325 – 174 – 157 – 1 – 8 – 168 – 367 – 269 – 58 – 254 – 223 – 309 – 131 – 318 – 118 – 282 – 350 – 178 – 138 – 198 – 102 – 136 – 332 – 296 – 222 – 276 – 259 – 90 – 92 – 207 – 397 – 260 – 203 – 335 – 284 – 343 – 77 – 31 – 214 – 132 – 320 – 140 – 312 – 35 – 183 – 17 – 12 – 177 – 70 – 384 – 373 – 355 – 319 – 86 – 97 – 366 – 321 – 204 – 333 – 267 – 370 – 272 – 356 – 2 – 395 – 361 – 16 – 227 – 212 – 213 – 399 – 224 – 238 – 229 – 225 – 125 – 298 – 186 – 53 – 344 – 142 – 116 – 155 – 323 – 400 – 175 – 196 – 0 – 43 – 197 – 295 – 375 – 191 – 304 – 394 – 393 – 79 – 62 – 36 – 311 – 55 – 167 – 362 – 169 – 10 – 115 – 66 – 261 – 78 – 382 – 306 – 354 – 4 – 285 – 45 – 65 – 347 – 39 – 251 – 391 – 210 – 38 – 270 – 381 – 387 – 67 – 94 – 111 – 374 – 278 – 377 – 99 – 300 – 72 – 398 – 396 – 44 – 160 – 15 – 231 – 288 – 247 – 249 – 256 – 153 – 307 – 11 – 165 – 172 – 105 – 158 – 287 – 322 – 190 – 100 – 98 – 87 – 56 – 64 – 3 – 358 – 327 – 195 – 380 – 289 – 233 – 324 – 144 – 202 – 353 – 180 – 244 – 208 – 80 – 236 – 280 – 279 – 128 – 228 – 337 – 127 – 139 – 88 – 96 – 313 – 340 – 152 – 310 – 6 – 218 – 145 – 59 – 14 – 252 – 371 – 46 – 217 – 363 – 181 – 200 – 266 – 188 – 173 – 216 – 342 – 108 – 26 – 194 – 61 – 293 – 42 – 126 – 336 – 148 – 258 – 171 – 23 – 253 – 185 – 60 – 237 – 150 – 84 – 83 – 308 – 299 – 215 – 73 – 163 – 365 – 104 – 314 – 101 – 109 – 135 – 113 – 257 – 232 – 176 – 315 – 162 – 48 – 246 – 346 – 189 – 193 – 91 – 338 – 242 – 50 – 51 – 273 – 386 – 239 – 117 – 302 – 89 – 376 – 68 – 316 – 120 – 143 – 149 – 146 – 294 – 317 – 95 – 27 – 76 – 209 – 28 – 184 – 368 – 170 – 334 – 331 – 75 – 179 – 303 – 18 – 33 – 359 – 221 – 159 – 20 – 119 – 52 – 401 – 385 – 389 – 283 – 277 – 352 – 182 – 240 – 219 – 85 – 32 – 156 – 154 – 234 – 250 – 74 – 305 – 383 – 34 – 230 – 226 – 390 – 206 – 30 – 106 – 369 – 124 – 339 – 187 – 123 – 192 – 114 – 130 – 301 – 129 – 255 – 291 – 379 – 137 – 54 – 151 – 7 – 220 – 9 – 264 – 274 – 107 – 271 – 357 – 328 – 330 – 201 – 262 – 103 – 5

# Wnioski

Algorytm genetyczny jest bardzo uniwersalny. W przypadku problemu komiwojażera oceną funkcji przystosowania jest długość ścieżki, jednak wystarczy zmienić jedynie funkcję celu, aby użyć tego schematu przy innych problemach. Uniwersalność algorytmu stanowi też pewną wadę, nie będzie on tak skuteczny, jak algorytm specjalizowany. Metoda jest szybka i ma możliwość wielokrotnego powtarzania obliczeń. Niestety nie gwarantuje nam znalezienia poprawnego rozwiązania, jest ono jedynie akceptowalne. W odróżnieniu od poprzednich algorytmów, gdzie operowaliśmy na jednym rozwiązaniu, w przypadku algorytmu genetycznego operujemy na pewnej populacji – zbiorze rozwiązań.

Na powyższych wykresach można zauważyć, że w miarę upływu czasu algorytm znajduje coraz to lepsze rozwiązania, jeśli ma do czynienia z większą instancją problemu. Przy małym pliku już po minucie lub dwóch otrzymujemy optymalne rozwiązanie. W przypadku większych plików, gdy poczekamy jeszcze chwilę, otrzymamy jeszcze lepsze rozwiązania.

Zaskakującym faktem jest, iż dla małego pliku najlepsze wyniki otrzymywaliśmy przy największej wartości populacji, a dla dużego na odwrót. Mogłoby się wydawać, że przy małych instancjach potrzebujemy małej populacji, a przy dużych większej, ale pomiary pokazały, że niekoniecznie. Dzieje się tak być może dlatego, że dla większej instancji algorytm nie będzie w stanie wykonać tylu iteracji w tak krótkim czasie.

Po analizie wpływu współczynników można zauważyć, że im większe prawdopodobieństwo na mutację lub krzyżowanie, tym częściej otrzymamy lepsze wyniki.

Najistotniejszą rolę w algorytmie odkrywają sposoby mutacji i krzyżowania. Zestawiając ze sobą wszystkie te metody na zasadzie każda z każdą widzimy, że najlepsze wyniki otrzymujemy przy krzyżowaniu OX i mutacji poprzez inwersję, a najgorsze przy zestawieniu tej samej mutacji, jednak z innym sposobem krzyżowania. Co ciekawe, tak znaczące różnice w rozwiązaniach nie występują, gdy zestawimy oba sposoby krzyżowania z mutacją Scramble. Z tego wynika, że porównując jedynie dwie metody krzyżowania lub dwie metody mutacji do siebie nawzajem możemy wyciągnąć inne wnioski, gdy porównujemy zestawienie tych metod ze sobą.

Za pomocą algorytmu genetycznego udało się znaleźć lepsze rozwiązania niż za pomocą algorytmu Tabu Search dla dwóch plików, jednak dla pliku ftv170.atsp wymagało to więcej czasu. Dla pliku rbg403.atsp najlepszą drogę znajdujemy po jeszcze dłuższym czasie, jednak obserwujemy, że algorytm nie wpada w globalne optimum. Przez dłuższy czas nie znajdował lepszego wyniku, jednak w końcu na niego trafił, nie zapętlił się. Być może, gdyby algorytm miał wystarczająco dużo czasu, to za którymś razem w końcu trafiłby na idealne lub bardzo dobre rozwiązanie.

# Bibliografia

* <https://www.youtube.com/watch?v=Pg4HP6Ayijs&t=4s>
* <https://www.youtube.com/watch?v=fjaVAHnF_Ks>
* <http://aragorn.pb.bialystok.pl/~wkwedlo/EA5.pdf>
* <https://mfiles.pl/pl/index.php/Algorytm_genetyczny>
* <https://www.fuw.edu.pl/~durka/ksiazki/as/HTML/node46.html>
* <http://staff.iiar.pwr.wroc.pl/dariusz.banasiak/si/SI_wyklad10.pdf>
* <http://aragorn.pb.bialystok.pl/~wkwedlo/EA2.pdf>
* [https://www.mimuw.edu.pl/~son/msui/6,7,8 – GA.pdf](https://www.mimuw.edu.pl/~son/msui/6,7,8-GA.pdf)
* <https://pl.wikipedia.org/wiki/Algorytm_genetyczny>
* <http://home.agh.edu.pl/~vlsi/AI/gen_t/>
* [https://sound.eti.pg.gda.pl/student/isd/isd03 – algorytmy\_genetyczne.pdf](https://sound.eti.pg.gda.pl/student/isd/isd03-algorytmy_genetyczne.pdf)
* <https://www.math.uni.lodz.pl/~marta/2012_2013_z/zz/gen.pdf>