Problem komiwojażera

Adrian Stępień i Wojciech Młyńczak

24 maja 2020

1 Zadanie 5

1.1 Opis zadania

Celem zadania jest implementacja hybrydowego algorytmu ewolucyjnego i porównanie go z metodami MSLS i ILSx zaimplementowanymi w zadaniu 4.

1.2 Opis zaimplementowanych algorytmów

1.2.1 Steady State

```
1  Wygeneruj listę 20 losowych rozwiązań.
2  Powtarzaj  dopóki nie osiągnięto określonego  czasu:
3      Wylosuj parę rozwiązań.
4      Dokonaj rekombinacji na podstawie wylosowanej pary:
5          Przygotuj puste rozwiązanie.
6          Dodaj każdy punkt, który znajduje się w obu
               rozwiązaniach.
7          Jeżeli rezultat rekombinacji jest pełny:
8              Nic nie rób.
9          W przeciwnym wypadku:
10             Oblicz liczbę wierzchołków, które należy dodać.
11             Przygotuj listę z wierzchołkami należącymi do
                   pierwszego lub drugiego rozwiązania.
12             Wylosuj z tej listy tyle wierzchołków, ile
                   należy dodać.
13             Dodaj wylosowane wierzchołki do rozwiązania.
14     Wykonaj lokalne przeszukiwanie na podstawie wyniku
           rekombinacji.
15     Posortuj listę rozwiązań.
16     Jeżeli najgorsze rozwiązanie z listy jest gorsze od
           uzyskanego rozwiązania i nie powtarza się w liście
           rozwiązań, to usuń najgorsze rozwiązanie i dodaj
           uzyskane rozwiązanie.
```

1.3 Wyniki pomiarów

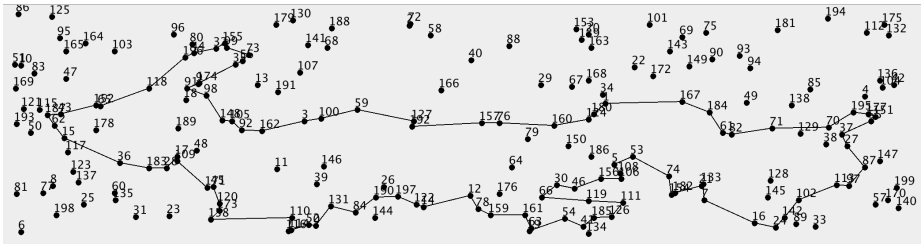
Pomiar	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średni czas [ms]	Minimalny czas [ms]	Maksymalny czas [ms]
Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroA200	15137.5	14608.0	15476.0	126088	123303	129858
Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroA200	13339.9	12955.0	13567.0	126190	126095	126424
Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroA200	14329.2	13072.0	16294.0	126211	126126	126308
Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroA200	13424.6	13045.0	14045.0	126089	126005	126198
Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroB200	15339.5	14850.0	15748.0	125760	123343	129725
Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroB200	13546.5	13288.0	14187.0	125837	125768	126027
Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroB200	14554.5	13828.0	15429.0	125938	125820	126058
Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroB200	14169.7	13525.0	14781.0	126183	126011	126462

1.3.1 Liczba iteracji lokalnego przeszukiwania

Algorytm	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
ILS1 dla kroA200	544.8	536	561
ILS2 dla kroA200	650.3	462	991
Steady State dla kroA200	310.3	219	429
ILS1 dla kroB200	546.2	525	566
ILS2 dla kroB200	495.8	362	621
Steady State dla kroB200	272.1	223	367

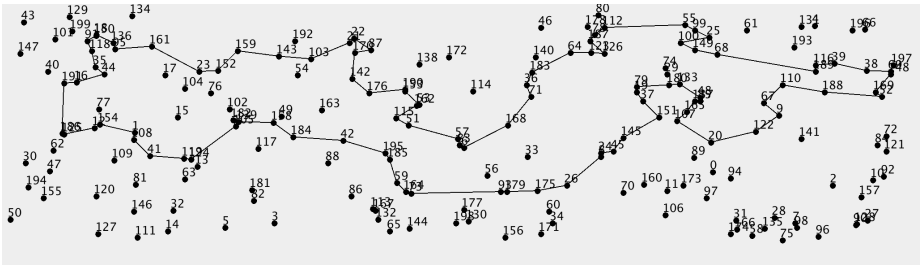
1.4 Wizualizacje najlepszych rozwiązań

1.4.1 Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroA200



Rysunek 1: Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroA200

1.4.2 Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroB200



Rysunek 2: Lokalne przeszukiwanie w wersji Steady State dla kroB200

1.5 Wnioski

Algorytm ewolucyjny osiągnął lepsze rezultaty zarówno od MSLS jak i od ILS2, okazał się jednak gorszy od od ILS1. Wyniki te powtórzyły się dla obu instancji. Czas wykonania jednej iteracji był gorszy od obu alorytmów ILS, jednak nadal był szybszy od algorytmu MSLS (algorytm ewolucyjny był około 3 razy szybszy od MSLS).

2 Zadanie 4

2.1 Opis zadania

Zadanie polega na implementacji trzech metod - multiple start local search oraz 2 rodzajów iterated local search.

2.2 Wybór algorytmów

Wybrany przez nas typ lokalnego przeszukiwania to steepest, ponieważ ta wersja dawała najlepsze wyniki. Użyta została wersja bez usprawnień zmniejszających złożoność obliczeniową. Permutacja do algorytmu ISL1 polega na wymianie 10

losowych wierzchołków z rozwiązania na losowe 10 wierzchołków z poza rozwiązania. Zaś permutacja dla algorytmu ISL2 polega na usunięciu z rozwiązania 20 procent wierzchołków oraz uzupełnieniu rozwiązania algorytmem Greedy Cycle.

2.3 Opis zaimplementowanych algorytmów

2.3.1 Multiple Start Local Search

```
Oznacz najlepsze rozwiązanie jako null.
Wykonuj pętlę 100 razy:
    Wygeneruj losowe rozwiązanie.
    Powtarzaj:
        Wygeneruj listę możliwych ruchów:
            Generowanie ruchów wymiany wierzchołków zewnątrztrasowych:
                Dla każdego punktu w rozwiązaniu:
                    Dla każdego punktu poza rozwiązaniem:
                        Oblicz deltę.
                        Dodaj ruch do listy ruchów.
            Generowanie ruchów wymiany krawędzi:
                Dla każdej krawędzi w rozwiązaniu:
                    Dla każdej innej krawędzi w rozwiązaniu:
                        Oblicz deltę.
                        Dodaj ruch do listy zwracanych ruchów.
            Posortuj listę zwracanych ruchów według obliczonej delty.
        Wykonaj najlepszy ruch:
            Jeżeli lista ruchów nie jest pusta:
                Jeżeli delta pierwszego ruchu z listy jest mniejsza od zera:
                    Jeżeli typ ruchu to zamiana punktów, to zamień punkty ze sobą.
                    W przeciwnym wypadku dla zamiany krawędzi zamień ze sobą krawędzie.
        Jeżeli nie można wykonać najlepszego ruchu to przerwij pętlę.
    Jeżeli aktualne rozwiązanie jest lepsze od najlepszego:
      Zapisz aktualne rozwiązanie jako najlepsze.
```

2.3.2 Iterated Local Search 1

```
Wygeneruj losowe rozwiązanie.
Wykonaj lokalne przeszukiwanie.
Powtarzaj dopóki nie osiągnięto określonego czasu:
    Wykonaj perturbację i zapisz kopię rozwiązania po permutacji:
        Wylosuj 10 punktów do zamiany.
        Zamień punkty z rozwiązania z wylosowanymi punktami z poza rozwiązania.
        Zapisz kopię rozwiązania po permutacji
```

```
8       Wykonaj lokalne przeszukiwanie na rozwiązaniu po
            permutacji.
9       Jeżeli rozwiązanie po permutacji i lokalnym
            przeszukiwaniu jest lepsze niż rozwiązanie przed
            permutacją:
10        Zapisz rozwiązanie po permutacji i lokalnym
              przeszukiwaniu jako aktualne rozwiązanie
```

2.3.3 Iterated Local Search 2

```
1   Wygeneruj losowe rozwiązanie.
2   Wykonaj lokalne przeszukiwanie.
3   Powtarzaj dopóki nie osiągnięto określonego czasu:
4       Wykonaj perturbację i zapisz kopię rozwiązania po
            permutacji:
5           Usuń 20% punktów z rozwiązania.
6           Napraw rozwiązanie za pomocą algorytmu Greedy Cycle
7           Zapisz kopię rozwiązania po permutacji
8       Wykonaj lokalne przeszukiwanie na rozwiązaniu po
            permutacji.
9       Jeżeli rozwiązanie po permutacji i lokalnym
            przeszukiwaniu jest lepsze niż rozwiązanie przed
            permutacją:
10        Zapisz rozwiązanie po permutacji i lokalnym
              przeszukiwaniu jako aktualne rozwiązanie
```

2.4 Wyniki pomiarów

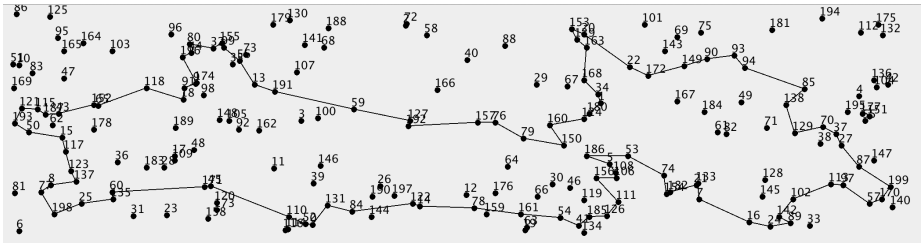
Pomiar	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średni czas [ms]	Minimalny czas [ms]	Maksymalny czas [ms]
Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroA200	15137.5	14608.0	15476.0	126088	123303	129858
Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroB200	15339.5	14850.0	15748.0	125760	123343	129725
Lokalne przeszukiwanie w wersji ISL1 dla kroA200	13339.9	12955.0	13567.0	126190	126095	126424
Lokalne przeszukiwanie w wersji ISL1 dla kroB200	13546.5	13288.0	14187.0	125837	125768	126027
Lokalne przeszukiwanie w wersji ISL2 dla kroA200	14329.2	13072.0	16294.0	126211	126126	126308
Lokalne przeszukiwanie w wersji ISL2 dla kroB200	14554.5	13828.0	15429.0	125938	125820	126058

Liczba iteracji lokalnego przeszukiwania dla ISL:

Algorytm	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
ISL1 dla kroA200	544.8	536	561
ISL1 dla kroB200	546.2	525	566
ISL2 dla kroA200	650.3	462	991
ISL2 dla kroB200	495.8	362	621

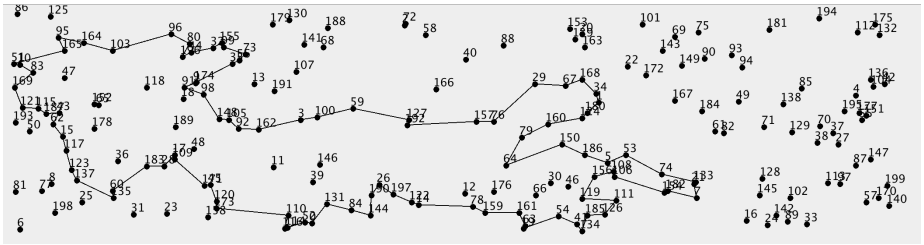
2.5 Wizualizacje najlepszych rozwiązań

2.5.1 Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroA200



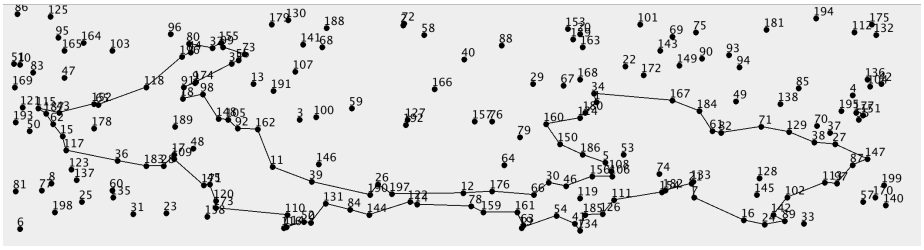
Rysunek 3: Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroA200

2.5.2 Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroA200



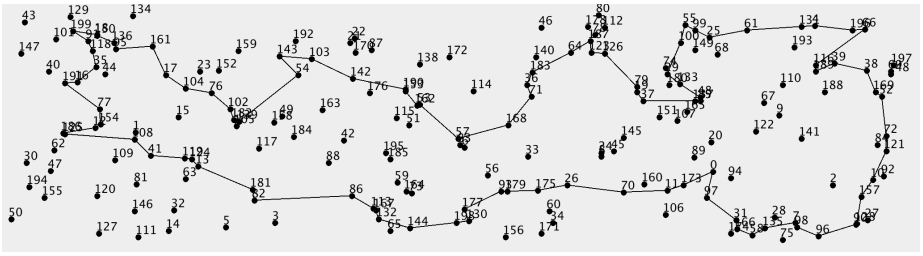
Rysunek 4: Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroA200

2.5.3 Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroA200



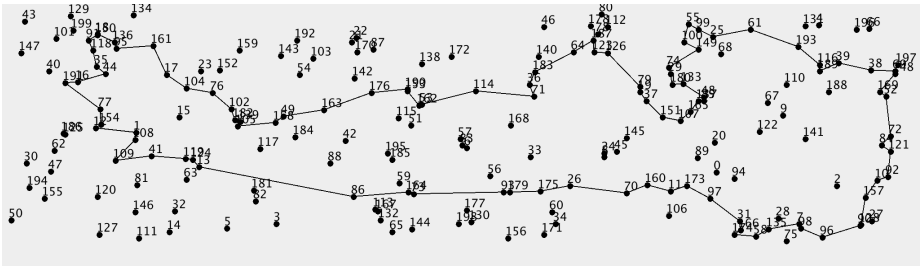
Rysunek 5: Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroA200

2.5.4 Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroB200



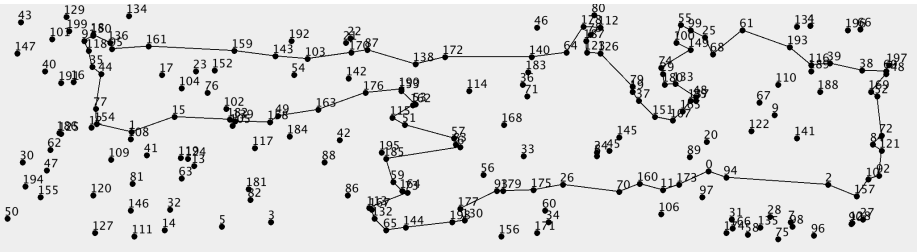
Rysunek 6: Lokalne przeszukiwanie w wersji MSLS dla kroB200

2.5.5 Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroA200



Rysunek 7: Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS1 dla kroB200

2.5.6 Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroB200



Rysunek 8: Lokalne przeszukiwanie w wersji ILS2 dla kroB200

2.6 Wnioski

Z powyżej opasanego doświadczenia wynikło, że metody ILS dają duże lepsze wyniki niż metoda MSLS. Drugim wnioskiem jest fakt, że czas wykonywania jednej iteracji ILS był ok. 5 razy szybszy niż jedna iteracja MSLS, ponieważ metoda MSLS zakłada lokalne przeszukiwanie w pełni losowego rozwiązania, a ILS stosuje lokalne przeszukiwanie dla lekko popsutego rozwiązania. Metoda ILS, gdzie permutacją była wymiana 10 wierzchołków na losowe dała lepsze wyniki niż, metoda z permutacją polegającą na usunięciu 20 procent wierzchołków i naprawieniu rozwiązania algorytmem Greedy Cycle. Możliwe, że usunięcie 20 procent wierzchołków to zbyt mocne popsucie rozwiązania.

3 Zadanie 3

3.1 Opis zadania

Zadanie polega na poprawie efektywności czasowej lokalnego przeszukiwania w wersji stromej z ruchem wymiany krawędzi.

3.2 Opis zaimplementowanych algorytmów

3.2.1 Algorytm wykorzystania ocen ruchów z poprzednich iteracji z uporządkowaną listą ruchów

```
1  Wygeneruj losowe rozwiązanie.
2  Wygeneruj listę ruchów.
3  Powtarzaj:
4      Sprawdź listę ruchów:
5          Dla każdego ruchu z listy ruchów:
6              Jeżeli typ ruchu to zamiana punktów:
7                  Weź trzy punkty z rozwiązania.
8                  Jeżeli wszystkie trzy punkty istnieją oraz
                       punkt spoza rozwiązania rzeczywiście
                       jest poza rozwiązaniem:
9                      Jeżeli pierwszy i drugi punkt z object1
                           są sąsiadami oraz drugi i trzeci
                           punkt z object1 są sąsiadami:
```

```
10                          Oblicz dystans aktualnego
                                rozwiązania.
11                          Dodaj punkty z aktualnego
                                rozwiązania do listy.
12                          Zamień środkowy punkt z trójki
                                punktów z punktem spoza
                                rozwiązania.
13                          Oblicz dystans rozwiązania po
                                zamianie punktów.
14                          Jeżeli różnica dystansów nie jest
                                równa delcie to wyrzuć błąd.
15                          Zapisz ruch jako wykonany ruch.
16                          Dodaj ruch co listy ruchów do
                                usunięcia.
17                      W przeciwnym wypadku:
18                          Dodaj ruch co listy ruchów do
                                usunięcia.
19                  W przeciwnym wypadku:
20                      Dodaj ruch co listy ruchów do usunięcia.
21              W przeciwnym wypadku dla zamiany krawędzi:
22                  Weź punkty pierwszej krawędzi i punkty
                        drugiej krawędzi.
23                  Jeżeli indeks pierwszego punktu z pierwszej
                        krawędzi jest większy od indeksu
                        drugiego punktu i pierwszy punkt nie
                        jest ostatnim punktem, to zamień te
                        punkty ze sobą.
24                  Jeżeli indeks pierwszego punktu z drugiej
                        krawędzi jest większy od indeksu
                        drugiego punktu i pierwszy punkt nie
                        jest ostatnim punktem, to zamień te
                        punkty ze sobą.
25                  Jeżeli pierwszy ruch z pierwszej pary oraz
                        pierwszy ruch z drugiej pary istnieją:
26                      Jeżeli następny punkt względem
                            pierwszego punktu z pierwszej
                            krawędzi to drugi punkt z pierwszej
                            krawędzi oraz następny punkt
                            względem pierwszego punktu z drugiej
                            krawędzi to drugi punkt z drugiej
                            krawędzi:
27                          Oblicz dystans aktualnego
                                rozwiązania.
28                          Dodaj punkty z aktualnego
                                rozwiązania do listy.
29                          Zamień krawędzie ze sobą.
30                          Oblicz dystans rozwiązania po
                                zamianie krawędzi.
31                          Jeżeli różnica dystansów nie jest
                                równa delcie to wyrzuć błąd.
32                          Zapisz ruch jako wykonany ruch.
33                          Dodaj ruch co listy ruchów do
                                usunięcia.
34                      W przeciwnym wypadku:
```

```
35                          Dodaj ruch co listy ruchów do
                                usunięcia.
36                  W przeciwnym wypadku:
37                      Dodaj ruch co listy ruchów do usunięcia.
38          Usuń z listy ruchów te ruchy, które zostały dodane
                do listy ruchów do usunięcia.
39          Jeżeli wykonano ruch, to dodaj wykonany ruch do
                listy
40      Zaktualizuj rozwiązanie.
41      Zaktualizuj listę ruchów.
42      Dodaj ruch do listy poprzednio wykonanych ruchów.
43      Przerwij zewnętrzną pętlę jeżeli lista ruchów jest
            pusta.
```

3.2.2 Algorytm ruchów kandydackich

```
1  Wygeneruj losowe rozwiązanie.
2  Powtarzaj:
3      Wygeneruj ruchy kandydackie:
4          Znajdź punkty znajdujące się poza rozwiązaniem.
5          Dla każdego typu ruchu:
6              Jeżeli typ ruchu to zamiana punktów:
7                  Dla każdego punktu w rozwiązaniu:
8                      Dla każdego punktu poza rozwiązaniem:
9                          Oblicz deltę dla zamianych tych
                               dwóch punktów (punktu w
                               rozwiązaniu i punktu poza
                               rozwiązaniem).
10                         Jeżeli delta jest mniejsza od zera,
                               to dodaj ten ruch do listy
                               ruchów kandydackich.
11             W przeciwnym wypadku dla zamiany krawędzi:
12                 Dla każdego punktu w rozwiązaniu:
13                     Dla najbliższych punktów tego punktu:
14                         Przerwij pętlę, jeżeli nie jest to
                               jeden z pięciu najbliższych
                               punktów.
15                         Przejdź do następnego najbliższego
                               punktu, jeżeli punkt nie leży w
                               aktualnym rozwiązaniu.
16                         Oblicz deltę dla zamiany krawędzi
                               pomiędzy tymi dwoma punktami.
17                         Jeżeli delta jest mniejsza od zera,
                               to dodaj ten ruch do listy
                               ruchów kandydackich.
18         Posortuj wygenerowane ruchy kandydackie od
               najlepszego do najgorszego.
19     Jeżeli nie wygenerowano ruchów kandydackich, to
           przerwij zewnętrzną pętlę, w przeciwnym wypadku:
20         Jeżeli delta najlepszego punktu nie jest mniejsza
               od zera, to przerwij zewnętrzną pętlę, w
               przeciwnym wypadku:
```

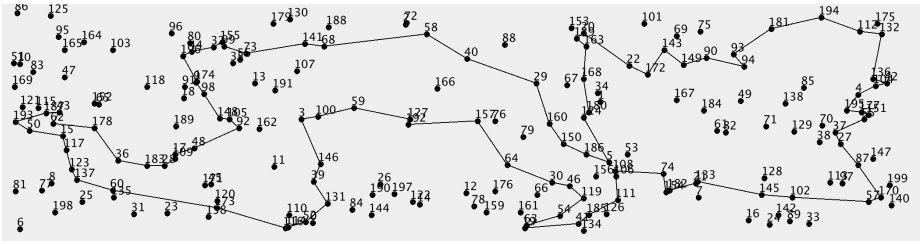
```
21              Jeżeli typ najlepszego ruchu to
                    pointOuterInnerChange:
22                  W rozwiązaniu zamień punkty wskazane przez
                        najlepszy kandydacki ruch.
23              W przeciwnym wypadku:
24                  W rozwiązaniu zamień krawędzie wskazane
                        przez najlepszy kandydacki ruch.
```

3.3 Wyniki pomiarów

Pomiar	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średni czas [ms]	Minimalny czas [ms]	Maksymalny czas [ms]
Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroA200	17054.24	14433.00	19243.00	19400	16502	23334
Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroA200	16958.04	14813.00	19128.00	385	276	862
Ruchy kandydackie dla kroA200	17149.35	15565.00	18977.00	489	396	746
Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroB200	17114.17	14682.00	20310.00	18859	15488	22255
Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroB200	17077.72	15493.00	19104.00	374	302	467
Ruchy kandydackie dla kroB200	17211.44	15896.00	18945.00	477	373	645

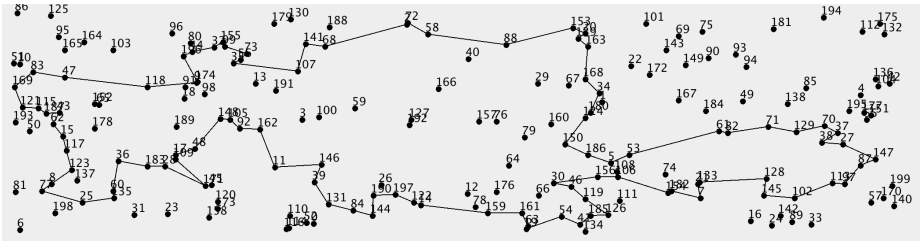
3.4 Wizualizacje najlepszych rozwiązań

3.4.1 Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroA200



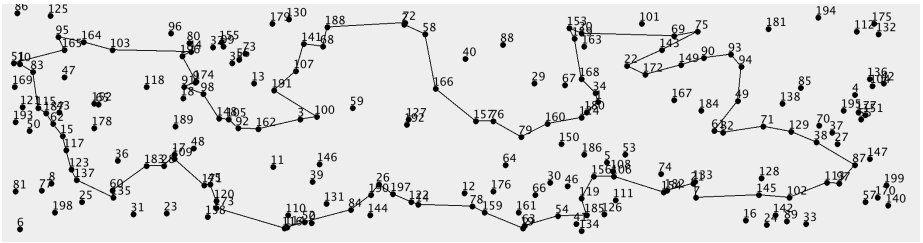
Rysunek 9: Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroA200

3.4.2 Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroA200



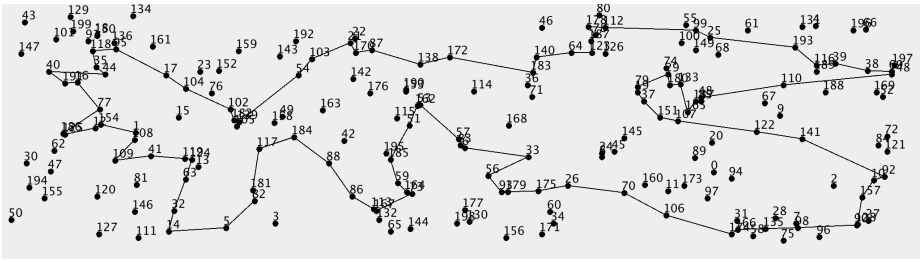
Rysunek 10: Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroA200

3.4.3 Ruchy kandydackie dla kroA200



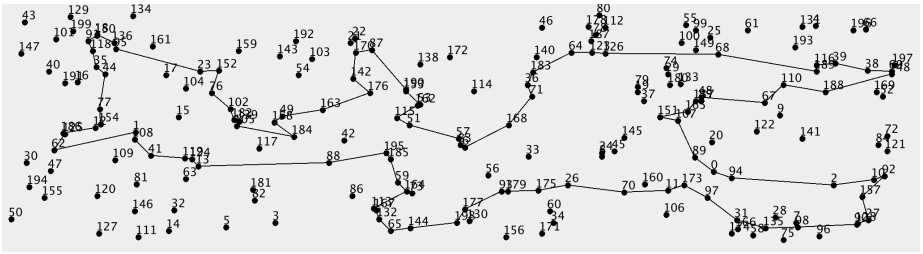
Rysunek 11: Ruchy kandydackie dla kroA200

3.4.4 Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroB200



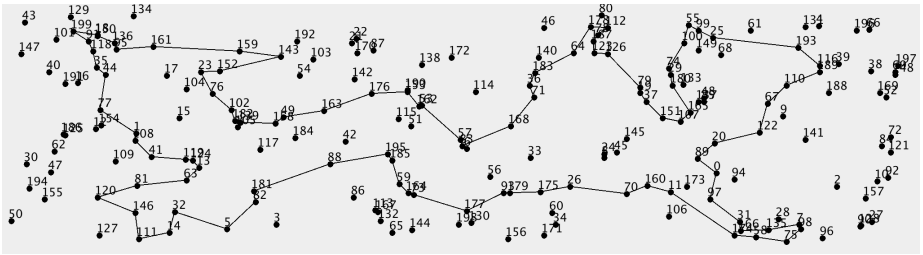
Rysunek 12: Lokalne przeszukiwanie w wersji stromej dla kroB200

3.4.5 Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroB200



Rysunek 13: Wykorzystanie ocen ruchów z poprzednich iteracji dla kroB200

3.4.6 Ruchy kandydackie dla kroB200



Rysunek 14: Ruchy kandydackie dla kroB200

3.5 Wnioski

Z wymienionych wyżej pomiarów można wywnioskować, że wykorzystanie oceny ruchów z poprzednich iteracji albo ruchów kandydackich znacząco przyspieszania działanie algorytmu - czas jednej iteracji jest zredukowany o dwa rzędy wielkości. Dystans osiągany przez zmodyfikowane algorytmy jest zbliżony do tych osiąganych przez algorytm wzorcowy, przy czym wykorzystanie oceny ruchów z poprzednich iteracji uzyskuje średni wynik lepszy zarówno od ruchów kandydackich jak i algorytmu wzorcowego.

4 Zadanie 2

4.1 Opis zadania

Zadanie polega na implementacji lokalnego przeszukiwania dla zmodyfikowane problemu komiwojażera. Lokalne przeszukiwanie my być zaimplementowane w wersjach stromej i zachłannej z dwoma różnym rodzajami sąsiedztwa.

4.2 Opis zaimplementowanych algorytmów

4.2.1 Algorytm lokalnego przeszukiwania w wersji zachłannej dla zamiany wierzchołków

```
Wygeneruj losowe rozwiązanie.
Dopóki nowe rozwiązanie jest lepsze:
    Oznacz, że nowe rozwiązanie jest gorsze.
    Wygeneruj losową serię.
    Dla każdego punktu w serii:
        Wygeneruj drugą losową serię.
        Dla każdego punktu w drugiej losowej serii:
            Jeżeli wybrany punkt jest taki sam jak punkt z
                pierwszej serii, to przejdź do następnego
                punktu z drugiej serii.
            Oblicz deltę.
            Jeżeli delta jest mniejsza od 0:
                Zamień punkt z rozwiązania wskazany, przez
                    pierwszą losową serię, na punkt z
                    drugiej serii.
                Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze i
                    przejdź do pętli zewnętrznej.
```

4.2.2 Algorytm lokalnego przeszukiwania w wersji stromej dla zamiany wierzchołków

```
Wygeneruj losowe rozwiązanie.
Dopóki nowe rozwiązanie jest lepsze:
    Oznacz, że nowe rozwiązanie jest gorsze.
    Wyzeruj najlepszą deltę i najlepsze punkty do zamiany.
    Wygeneruj losową serię.
    Dla każdego punktu w serii:
        Wygeneruj drugą losową serię.
        Dla każdego punktu w drugiej losowej serii:
      Jeżeli wybrany punkt jest taki sam jak punkt z
          pierwszej serii, to przejdź do następnego punktu z
          drugiej serii.
          Oblicz deltę.
          Jeżeli delta jest lepsza od najlepszej delty:
              Zamień najlepszą deltę na obliczoną deltę.
              Zamień znalezione punkty z obecnymi
                  punktami do zamiany.
              Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze.
    Jeżeli najlepsza delta jest mniejsza od 0, to zamień
        znalezione dwa punkty ze sobą.
```

4.2.3 Algorytm lokalnego przeszukiwania w wersji zachłannej dla zamiany krawędzi

```
Wygeneruj losowe rozwiązanie.
Dopóki nowe rozwiązanie jest lepsze:
    Oznacz, że nowe rozwiązanie jest gorsze.
    Wyzeruj najlepszą deltę i najlepsze punkty do zamiany.
    Wylosuj czy następuje wymiana wierzchołków
        pozatrasowych czy krawędzi wewnątrz trasowych
    Jeżeli wylosowano wymianę wierzchołków pozatrasowych
```

```
7         Wygeneruj losową serię.
8         Dla każdego punktu w serii:
9             Oblicz dystans aktualnego rozwiązania.
10            Wygeneruj drugą losową serię bez punktów z
                  aktualnego rozwiązania.
11            Dla każdego punktu w drugiej losowej serii:
12                Jeżeli wybrany punkt jest taki sam jak punkt
                      z pierwszej serii, to przejdź do
                      następnego punktu z drugiej serii.
13                Oblicz deltę.
14                Jeżeli delta jest mniejsza od zera
15                    Zamień znalezione dwa punkty ze sobą.
16                    Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze i
                          przejdź do pętli zewnętrznej.
17    Jeżeli wylosowano wymianę krawędzi
18        Wygeneruj losową serię.
19        Dla każdej krawędzi w serii:
20            Wygeneruj drugą losową serię.
21            Dla każdej krawędzi w drugiej losowej serii:
22                Jeżeli wybrana krawędź jest taka sama jak
                      krawędź z pierwszej serii lub sąsiadują za
                      sobą, to przejdź do następnej krawędzi z
                      drugiej serii.
23                Oblicz deltę.
24                Jeżeli delta jest mniejsza od zera
25                    Zamień znalezione dwie krawędzie.
26                    Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze i
                          przejdź do pętli zewnętrznej.
```

4.2.4 Algorytm lokalnego przeszukiwania w wersji stromej dla zamiany krawędzi

```
1  Wygeneruj losowe rozwiązanie.
2  Dopóki nowe rozwiązanie jest lepsze:
3      Oznacz, że nowe rozwiązanie jest gorsze.
4      Wyzeruj najlepszą deltę i najlepsze punkty do zamiany.
5      Wygeneruj losową serię.
6      Dla każdego punktu w serii:
7          Oblicz dystans aktualnego rozwiązania.
8          Wygeneruj drugą losową serię bez punktów z
               aktualnego rozwiązania.
9          Dla każdego punktu w drugiej losowej serii:
10             Jeżeli wybrany punkt jest taki sam jak punkt z
                   pierwszej serii, to przejdź do następnego
                   punktu z drugiej serii.
11             Oblicz deltę.
12             Jeżeli delta jest lepsza od najlepszej delty:
13                 Zamień najlepszą deltę na obliczoną deltę.
14                 Zamień znalezione punkty z obecnymi
                       punktami do zamiany.
15                 Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze.
16     Wygeneruj losową serię.
17     Dla każdego punktu w serii:
```

```
18          Wygeneruj drugą losową serię.
19          Dla każdej krawędzi w drugiej losowej serii:
20              Jeżeli wybrana krawędź jest taka sama jak
                    krawędź z pierwszej serii lub sąsiadują za
                    sobą, to przejdź do następnej krawędzi z
                    drugiej serii.
21              Oblicz deltę.
22              Jeżeli delta jest lepsza od najlepszej delty:
23                  Zamień najlepszą deltę na obliczoną deltę.
24                  Zamień znalezione punkty z obecnymi
                        punktami do zamiany.
25                  Oznacz, że nowe rozwiązanie jest lepsze.
26      Jeżeli najlepsza delta jest mniejsza od 0, to zamień
            znalezione dwa punkty ze sobą.
```

4.2.5 Sposób randomizacji kolejności przeglądania

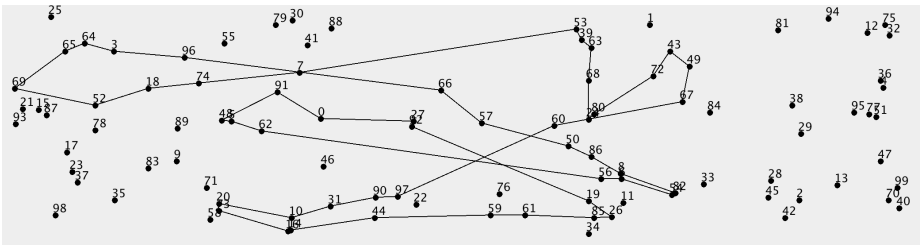
W algorytmie wykorzystano randomizację kolejności przeszukiwania. Są to wszystkie operacje opisane jako generowanie serii. Polegają one na wygenerowaniu indeksów krawędzi lub punktów (w zależności od tego co będzie wymieniane) w losowej kolejności. Następnie, gdy przeglądane są kolejne punkty lub krawędzie są one pobierane z wygenerowanej serii, dzięki czemu kolejność przeglądania za każdą iteracją pętli głównej jest inna.

4.3 Wyniki pomiarów

Pomiar	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średni czas [ms]	Minimalny czas [ms]	Maksymalny czas [ms]
Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroA100	18116.54	14316.00	16646.00	701	436	925
Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroA100	16747.61	13694.00	16207.00	116	71	224
Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroA100	12545.69	10769.00	11889.00	685	517	858
Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroA100	13469.44	11091.00	14262.00	56	26	92
Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroB100	17721.50	14033.00	15635.00	717	504	1108
Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroB100	16873.84	12300.00	15330.00	106	72	158
Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroB100	12541.73	11199.00	13471.00	665	502	835
Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroB100	13261.47	11477.00	13227.00	60	25	115

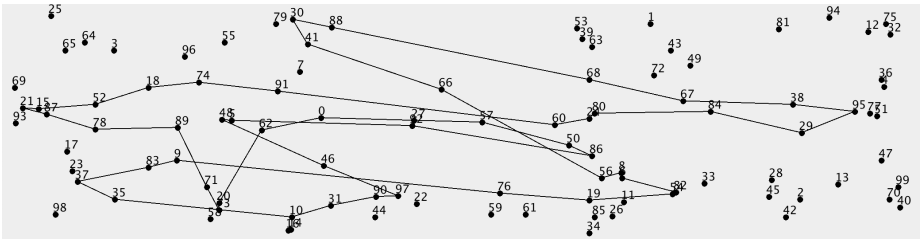
4.4 Wizualizacje najlepszych rozwiązań

4.4.1 Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroA100



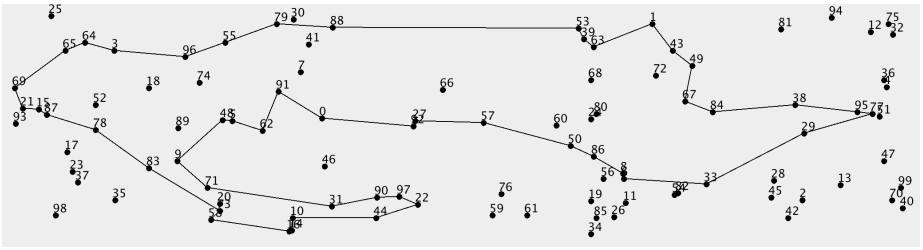
Rysunek 15: Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroA100

4.4.2 Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroA100



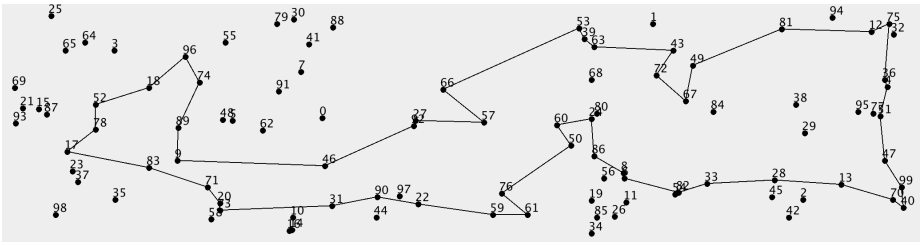
Rysunek 16: Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroA100

4.4.3 Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroA100



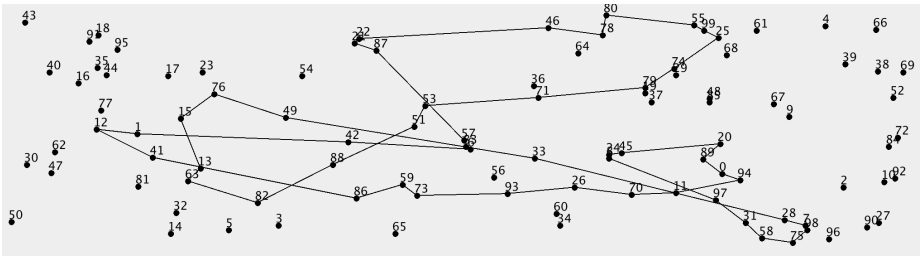
Rysunek 17: Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroA100

4.4.4 Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroA100



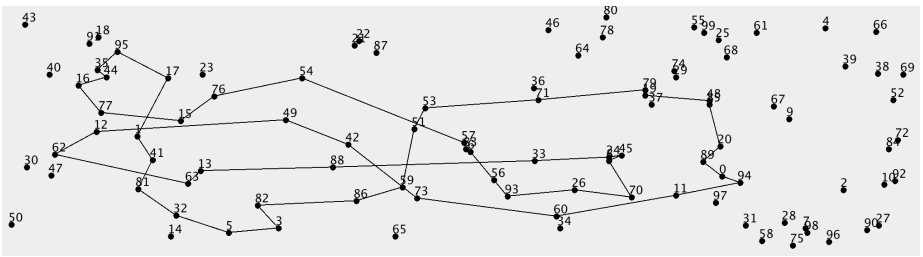
Rysunek 18: Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroA100

4.4.5 Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroB100



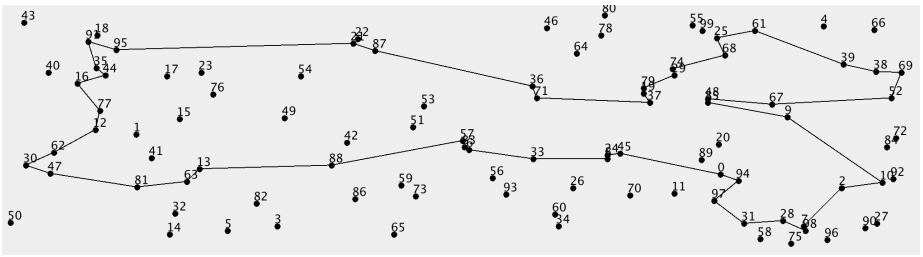
Rysunek 19: Zamiana wierzchołków w wersji stromej dla kroB100

4.4.6 Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroB100



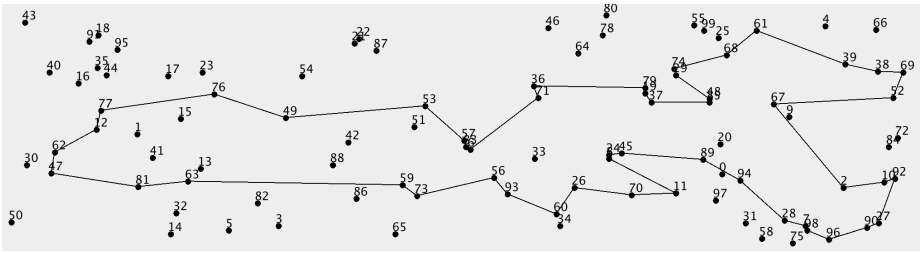
Rysunek 20: Zamiana wierzchołków w wersji zachłannej dla kroB100

4.4.7 Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroB100



Rysunek 21: Zamiana krawędzi w wersji stromej dla kroB100

4.4.8 Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroB100



Rysunek 22: Zamiana krawędzi w wersji zachłannej dla kroB100

4.5 Wnioski

Z wymienionych wyżej pomiarów można wywnioskować, że dla podanych warunków problemu zamiana kolejności krawędzi dla obu typów algorytmu daje dużo lepsze wyniki niż wymiana wierzchołków. Moża również zaobserwować, że wersja zachłanna dla zamiany wierzchołków daje średnio lepsze wyniki od wersji stromej. Dla zamiany kolejności krawędzi rozwiązania wyniki są odwrotne - wersja stroma daje średnio lepsze rezultaty od wersji zachłannej. Wersja stroma ma o wiele większe czasy wykonywania z powodu, że musi zawsze przeszukiwać całe rozwiązanie w poszukiwaniu najlepszego ruchu, a wersja zachłanna wybiera pierwszy poprawiający rozwiązanie ruch.

5 Zadanie 1

5.1 Opis zadania

Rozważany problem to zmodyfikowany problem komiwojażera. Dany jest zbiór wierzchołków i macierz odległości pomiędzy każdą parą wierzchołków. Celem zadania jest znalezienie najkrótszej ścieżki zamkniętej przechodzącą przez 50% wszystkich wierzchołków (w przypadku nieparzystej liczby wierzchołków liczba jest zaokrąglana w górę).

5.2 Opis zaimplementowanych algorytmów

5.2.1 Algorytm zachłanny greedy cycle

```
1 Wybierz pierwszy punkt.
2 Wybierz drugi punkt leżący najbliżej pierwszego.
3 Jeżeli nie dodałeś wszystkich punktów:
4   Dla pozostałych wolnych punktów:
5     Dla każdej krawędzi w aktualnym rozwiązaniu:
6       Oblicz koszt dodania punktu do rozwiązania w danej
            krawędzi.
7       Sprawdź czy to jest najlepsze rozwiązanie w danym
            momencie.
8   Dodaj znaleziony najlepszy punkt w wybranej krawędzi do
        cyklu.
```

5.2.2 Algorytm z żalem oparty o 1-żal

```
1  Wybierz pierwszy punkt.
2  Wybierz drugi punkt leżący najbliżej pierwszego.
3  Jeżeli nie dodałeś wszystkich punktów:
4    Dla pozostałych wolnych punktów:
5      Dla każdej krawędzi w aktualnym rozwiązaniu:
6        Oblicz koszt dodania punktu do rozwiązania w danej
             krawędzi.
7        Dodaj punkt do listy potencjalnych rozwiązań wraz z
             kosztem dodania.
8      Oblicz żal dla danego punktu
9    W liście potencjalnych rozwiązań znajdź rozwiązanie z
       największym żalem.
10   Dodaj znalezione rozwiązanie z największym żalem do cyklu.
```

5.3 Wyniki pomiarów

5.3.1 Algorytm zachłanny dla problemu kroA100

Pomiar	Wynik
Wartość średnia	12898.45
Wartość minimalna	11325.00
Wartość maksymalna	14067.00

5.3.2 Algorytm oparty o żal dla problemu kroA100

Pomiar	Wynik
Wartość średnia	16879.11
Wartość minimalna	14456.00
Wartość maksymalna	17899.00

5.3.3 Algorytm zachłanny dla problemu kroB100

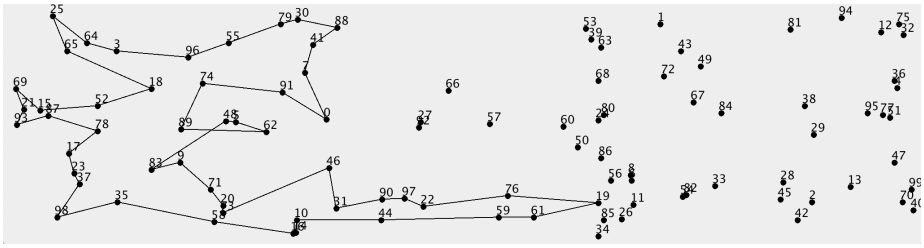
Pomiar	Wynik
Wartość średnia	12710.59
Wartość minimalna	10240.00
Wartość maksymalna	11320.00

5.3.4 Algorytm oparty o żal dla problemu kroB100

Pomiar	Wynik
Wartość średnia	17245.51
Wartość minimalna	15547.00
Wartość maksymalna	16965.00

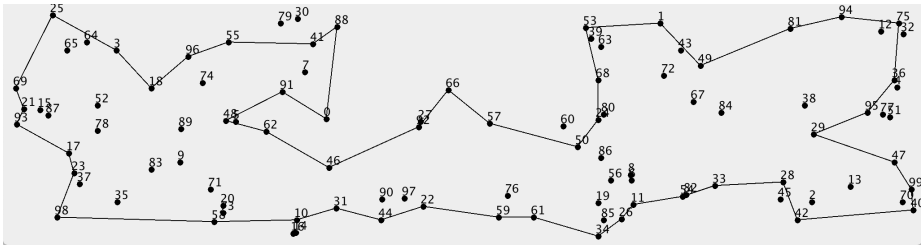
5.4 Wizualizacje najlepszych rozwiązań

5.4.1 Algorytm zachłanny dla problemu kroA100



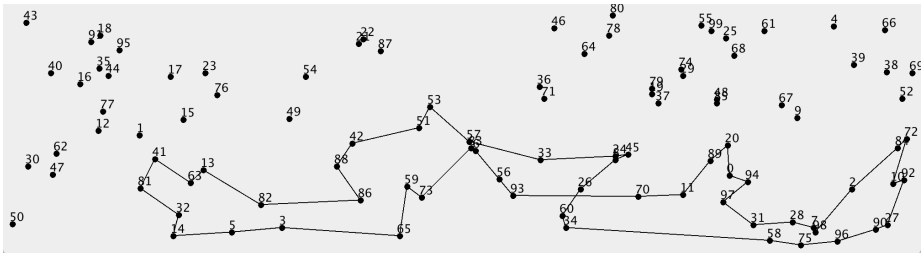
Rysunek 23: Algorytm zachłanny dla problemu kroA100

5.4.2 Algorytm oparty o żal dla problemu kroA100



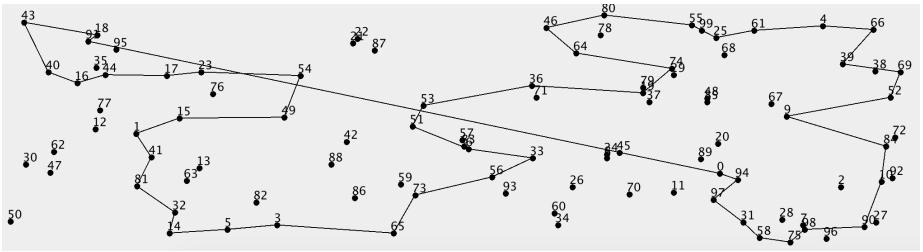
Rysunek 24: Algorytm oparty o żal dla problemu kroA100

5.4.3 Algorytm zachłanny dla problemu kroB100



Rysunek 25: Algorytm zachłanny dla problemu kroB100

5.4.4 Algorytm oparty o żal dla problemu kroB100



Rysunek 26: Algorytm oparty o żal dla problemu kroB100

5.5 Wnioski

Z wymienionych wyżej pomiarów można wywnioskować, że dla podanych warunków problemu (odwiedzanie połowy punktów), algorytm zachłanny radzi sobie lepiej od algorytmu opartego o żal (cykl, który generuje ma mniejszą długość). Przeprowadzono również testy dla przypadku, gdy oba te algorytmy uruchomione zostaną dla wszystkich punktów. Wtedy wyniki są odmienne, algorytm z żalem okazuje się lepszy od algorytmu zachłannego. Jest to spowodowane tym, że dla warunków zadania z odwiedzeniem połowy punktów algorytm z żalem czasami dodaje punkty, które mają duży żal, a w ogóle nie powinny zostać dodane do cyklu z powodu dużego kosztu ich dodania. Gdy odwiedzone mają być wszystkie punkty, koszt dodania punktu nie ma takiego znaczenia, ponieważ prędzej lub później i tak każdy punkt będzie musiał zostać dodany.

6 Kod programu

Repozytorium z kodem programu dostępne jest pod adresem: `https://github.com/adrianstepienfsw/AEM1`