

Alicja Forysiak 229875

## Zadanie 6: Rzeczywisty problem

### 1. Cel

Rozwiąż problem planowania dostaw z uwzględnieniem okien czasowych (ang. Vehicle Routing Problem with Time Windows) dowolną omawianą metaheurystyką. Badania przeprowadź dla danych benchmarkowych - wybierz po 3 pliki z grupy R1, R2, C1, C2, RC1, RC2. Porównaj swoje wyniki z najlepszymi znanymi rezultatami.

### 2. Wprowadzenie

Problem planowania dostaw z oknami czasowymi (Vehicle Routing Problem with Time Windows) jest ważnym zagadnieniem w systemie logistycznym. Problem ten można opisać jako wybór tras dla ograniczonej liczby pojazdów, które będą obsługiwać grupę klientów w określonych oknach czasowych. Każdy pojazd ma ograniczoną pojemność oraz rozpoczyna i kończy trasę w magazynie. Każdy klient powinien być obsługiwany dokładnie raz w określonym przez niego oknie czasowym. Celem VRPTW jest zminimalizowanie całkowitych kosztów transportu. Wyróżnić możemy kilka typów możliwych do przeprowadzenia optymalizacji:

1. Minimalizacja liczby pojazdów lub kierowców potrzebnych do obsługi wszystkich klientów
2. Minimalizacja globalnego kosztu transportu polegająca na najmniejszym możliwym pokonanym dystansie lub czasie potrzebnym na jego pokonanie oraz jak najlepszym wykorzystaniu ładowności pojazdów
3. Minimalizacja możliwych kar za nieobsłużenie klientów w całości, np. w przypadku ograniczonej ładowności pojazdu
4. Minimalizacja zbalansowanego kosztu wszystkich powyższych, czyli długości dróg, okien czasowych i ładowności pojazdu

### 3. Opis implementacji

W celu rozwiązania zadanego problemu zaimplementowałam Algorytm Genetyczny. Dzięki wykorzystaniu biblioteki *deap* mogłam sprawnie zaimplementować populację instancji logistycznych rozwiązujących problem oraz manipulować nią zgodnie z krokami algorytmu genetycznego. Sam algorytm zaimplementowany jest w funkcji `genetic_algorithm_for_vrptw`.

Wykorzystując znane parametry mające wpływ na jakość danej instancji zaimplementowałam następującą funkcję kosztu, którą na potrzeby porównania wyników można uprościć do dystansu jaki musiał zostać przebyty w sumie przez wszystkie wykorzystane pojazdy, wystarczy za parametry przyjąć te przy inicjalizacji algorytmu genetycznego tj.: `cost_of_unit=1.0`, `cost_of_waiting=0.0`, `cost_of_delay=0.0`

```
1 def eval_vrptw(individual, instance, cost_of_unit,
2               cost_of_waiting, cost_of_delay, speed=1):
3
4     route = individual2route(individual, instance, speed)
5     total_cost = 0
6     for subRoute in route:
7         sub_route_time_cost = 0
8         sub_route_distance = 0
9         elapsed_time = 0
10        last_customerID = 0
11        for customerID in subRoute:
12            # oblicz dystans
13            distance =
14                instance['distance_matrix'][last_customerID]
15                    [customerID] * speed
16            # update sub-route distance
17            sub_route_distance = sub_route_distance + distance
18            # oblicz koszt związany z czasem
19            arrival_time = elapsed_time + distance
20            time_cost = cost_of_waiting
21            * max(instance['customer_%d' % customerID]
22                ['ready_time'] - arrival_time,
23                0) + cost_of_delay * max(
24                arrival_time
25                - instance['customer_%d' % customerID]
26                    ['due_time'], 0)
27            # update koszt związany
28            # z czasem dla danej sub-route
29            sub_route_time_cost =
30                sub_route_time_cost + time_cost
31            # update elapsed-time
32            elapsed_time =
33                arrival_time + instance['customer_%d' %
34                customerID]['service_time']
35            # update ID ostatnio odwiedzonego klienta
36            last_customerID = customerID
37            # oblicz koszt związany z transportem
38            sub_route_distance = sub_route_distance +
39                (instance['distance_matrix']
40                 [last_customerID][0] * speed)
41            sub_route_tran_cost = cost_of_unit
```

```

42         * sub_route_distance
43         # koszt zwiazany z czasem
44         sub_route_cost = sub_route_time_cost
45         + sub_route_tran_cost
46         # koszt sumarycznie
47         total_cost = total_cost + sub_route_cost
48         fitness = 1.0 / total_cost
49         return fitness,

```

Aby osiągnąć jak najlepsze wyniki wykorzystałam:

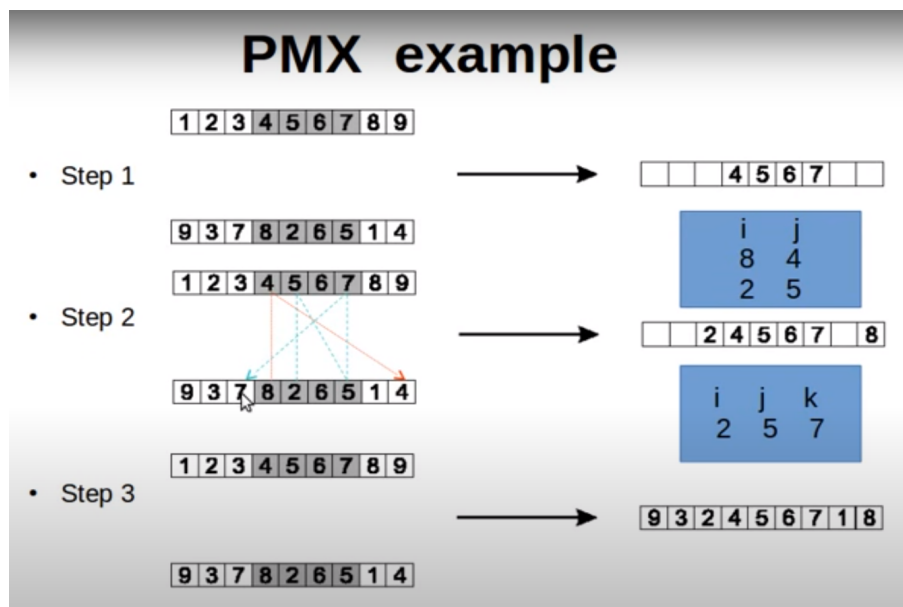
1. Selekcję hybrydową: składającą się z selekcji elitarniej oraz ruletkowej

```

1     # selekcja nastepnej generacji
2     # selekcja elitarna - najlepszy osobnik,
3     # zabezpieczony przed mutacją i krzyżowaniem
4     elite = tools.selBest(pop, 1)
5     # selekcja top 10% wszystkich dzieci
6     # selekcja ruletkowa pozostałych 90% dzieci
7     offspring = tools.selBest(pop,
8                               int(numpy.ceil(len(pop) * 0.1)))
9     offspring_roulette = toolbox.select(pop,
10                                       int(numpy.floor(len(pop) * 0.9)) - 1)
11     offspring.extend(offspring_roulette)
12     # Clone the selected individuals
13     offspring =
14         list(toolbox.map(toolbox.clone, offspring))
15

```

2. Krzyżowanie: Partially Mapped Crossover



Rysunek 1. Działanie krzyżowania PMX na przykładzie.

```

1     def crossover_partially_mapped(ind1, ind2):
2     # Partially Matched crossover
3     size = min(len(ind1), len(ind2))
4     p1, p2 = [0] * size, [0] * size
5

```

```

6     # zainicjuj pozycje kazdego
7     # wskaznika w poszczegolnych osobnikach
8     for i in range(size):
9         p1[ind1[i] - 1] = i
10        p2[ind2[i] - 1] = i
11    # wybor punktow krzyzowania
12    point1 = random.randint(0, size)
13    point2 = random.randint(0, size - 1)
14    if point2 >= point1:
15        point2 += 1
16    else: # wymiana punktow krzyzowania
17        point1, point2 = point2, point1
18
19    # krzyzowanie pomiedzy punktami
20    for i in range(point1, point2):
21
22        temp1 = ind1[i]
23        temp2 = ind2[i]
24
25        ind1[i], ind1[p1[temp2 - 1]] = temp2, temp1
26        ind2[i], ind2[p2[temp1 - 1]] = temp1, temp2
27
28        p1[temp1 - 1],
29        p1[temp2 - 1] = p1[temp2 - 1], p1[temp1 - 1]
30        p2[temp1 - 1],
31        p2[temp2 - 1] = p2[temp2 - 1], p2[temp1 - 1]
32
33    return ind1, ind2
34

```

3. Mutację: Inverse Indexes Mutation - mutacja ta odwraca atrybuty pomiędzy dwoma losowymi punktami jednostki wejściowej.

```

1     def mutation_inverse_indexes(individual):
2         start, stop =
3             sorted(random.sample(range(len(individual)), 2))
4         individual =
5             individual[:start] + individual[stop:start - 1:-1]
6             + individual[stop + 1:]
7         return individual,
8

```

#### 4. Wyniki i dyskusja

Problem	NV	Distance	Authors	Problem	NV	Distance	Authors
R101	19	1645.79	H	R201	4	1252.37	HG
R102	17	1486.12	RT	R202	3	1191.70	RGP
R103	13	1292.68	LLH	R203	3	939.54	M
R104	9	1007.24	M	R204	2	825.52	BVH
R105	14	1377.11	RT	R205	3	994.42	RGP
R106	12	1251.98	M	R206	3	906.14	SSSD
R107	10	1104.66	S97	R207	2	893.33	BVH
R108	9	960.88	BBB	R208	2	726.75	M
R109	11	1194.73	HG	R209	3	909.16	H
R110	10	1118.59	M	R210	3	939.34	M
R111	10	1096.72	RGP	R211	2	892.71	BVH
R112	9	982.14	GTA				
C101	10	828.94	RT	C201	3	591.56	RT
C102	10	828.94	RT	C202	3	591.56	RT
C103	10	828.06	RT	C203	3	591.17	RT
C104	10	824.78	RT	C204	3	590.60	RT
C105	10	828.94	RT	C205	3	588.88	RT
C106	10	828.94	RT	C206	3	588.49	RT
C107	10	828.94	RT	C207	3	588.29	RT
C108	10	828.94	RT	C208	3	588.32	RT
C109	10	828.94	RT				
RC101	14	1696.94	TBGGP	RC201	4	1406.91	M
RC102	12	1554.75	TBGGP	RC202	3	1367.09	CC
RC103	11	1261.67	S98	RC203	3	1049.62	CC
RC104	10	1135.48	CLM	RC204	3	798.41	M
RC105	13	1629.44	BBB	RC205	4	1297.19	M
RC106	11	1424.73	BBB	RC206	3	1146.32	H
RC107	11	1230.48	S97	RC207	3	1061.14	BVH
RC108	10	1139.82	TBGGP	RC208	3	828.14	IKMUY

Rysunek 2. Najlepsze znane rezultaty.

#### 4.1. R101

```
1 Fitness: 0.00039884707724610537
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 40 - 42 - 89 - 9 - 12 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 20 - 51 - 29 - 78 - 55 - 25 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 91 - 100 - 99 - 96 - 37 - 59 - 7 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 39 - 67 - 41 - 98 - 43 - 74 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 6 - 5 - 85 - 61 - 83 - 82 - 48 - 95 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 88 - 27 - 22 - 23 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 65 - 76 - 68 - 52 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 49 - 13 - 94 - 92 - 15 - 53 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 62 - 28 - 56 - 54 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 19 - 36 - 66 - 90 - 31 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 64 - 47 - 16 - 86 - 0
24 Vehicle 12's route:
25 0 - 30 - 63 - 33 - 35 - 80 - 4 - 0
26 Vehicle 13's route:
27 0 - 87 - 58 - 93 - 38 - 14 - 2 - 26 - 0
28 Vehicle 14's route:
29 0 - 32 - 71 - 24 - 21 - 75 - 0
30 Vehicle 15's route:
31 0 - 69 - 10 - 34 - 79 - 50 - 73 - 0
32 Vehicle 16's route:
33 0 - 11 - 17 - 84 - 3 - 77 - 0
34 Vehicle 17's route:
35 0 - 45 - 60 - 72 - 1 - 81 - 70 - 0
36 Vehicle 18's route:
37 0 - 18 - 46 - 57 - 97 - 44 - 8 - 0
38 Distance: 2507.2265964806306
```

Rozwiązanie zakłada 18 pojazdów, co jest o jeden mniejszą liczbą od najlepszego znanego wyniku. Jednak dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.2. R102

```
1 Fitness: 0.00037018739397904054
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 57 - 22 - 67 - 56 - 92 - 95 - 69 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 81 - 78 - 40 - 65 - 70 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 43 - 14 - 53 - 39 - 3 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 47 - 49 - 52 - 8 - 42 - 0
10 Vehicle 5's route:
```

```

11 0 - 51 - 4 - 97 - 25 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 79 - 87 - 74 - 41 - 23 - 2 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 46 - 48 - 88 - 90 - 32 - 76 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 45 - 29 - 83 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 68 - 18 - 31 - 54 - 80 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 62 - 63 - 64 - 1 - 20 - 35 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 13 - 99 - 94 - 59 - 17 - 86 - 96 - 0
24 Vehicle 12's route:
25 0 - 36 - 33 - 0
26 Vehicle 13's route:
27 0 - 38 - 82 - 7 - 19 - 11 - 30 - 0
28 Vehicle 14's route:
29 0 - 55 - 73 - 72 - 84 - 77 - 12 - 0
30 Vehicle 15's route:
31 0 - 50 - 10 - 34 - 24 - 27 - 0
32 Vehicle 16's route:
33 0 - 75 - 98 - 60 - 100 - 37 - 21 - 0
34 Vehicle 17's route:
35 0 - 16 - 61 - 44 - 58 - 15 - 89 - 6 - 0
36 Vehicle 18's route:
37 0 - 28 - 66 - 71 - 26 - 9 - 0
38 Vehicle 19's route:
39 0 - 5 - 85 - 93 - 91 - 0
40 Distance: 2701.334557212444

```

Rozwiązanie zakłada 19 pojazdów, co jest liczbą o 2 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

### 4.3. R103

```

1 Fitness: 0.0003638471007385346
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 8 - 69 - 38 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 25 - 73 - 26 - 58 - 36 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 76 - 27 - 6 - 84 - 46 - 61 - 42 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 68 - 24 - 92 - 17 - 31 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 51 - 81 - 29 - 34 - 30 - 90 - 52 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 48 - 47 - 35 - 78 - 79 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 83 - 16 - 4 - 98 - 89 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 77 - 45 - 82 - 10 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 39 - 56 - 40 - 94 - 15 - 53 - 0
20 Vehicle 10's route:

```

```

21 0 - 88 - 70 - 49 - 44 - 14 - 43 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 55 - 59 - 93 - 23 - 13 - 0
24 Vehicle 12's route:
25 0 - 28 - 41 - 2 - 99 - 57 - 0
26 Vehicle 13's route:
27 0 - 20 - 71 - 66 - 9 - 75 - 21 - 0
28 Vehicle 14's route:
29 0 - 5 - 86 - 3 - 33 - 65 - 0
30 Vehicle 15's route:
31 0 - 97 - 18 - 64 - 54 - 0
32 Vehicle 16's route:
33 0 - 91 - 80 - 19 - 60 - 0
34 Vehicle 17's route:
35 0 - 12 - 87 - 100 - 72 - 74 - 67 - 0
36 Vehicle 18's route:
37 0 - 1 - 11 - 63 - 62 - 32 - 50 - 0
38 Vehicle 19's route:
39 0 - 22 - 95 - 37 - 96 - 85 - 7 - 0
40 Distance: 2748.4072237217397

```

Rozwiązanie zakłada 19 pojazdów, co jest liczbą o 6 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.4. C101

```

1 Fitness: 0.00040763495518009716
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 59 - 39 - 33 - 32 - 52 - 4 - 45 - 50 - 21 - 22 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 56 - 54 - 49 - 77 - 79 - 70 - 73 - 74 - 91 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 40 - 78 - 63 - 57 - 27 - 30 - 3 - 18 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 25 - 20 - 26 - 11 - 19 - 28 - 7 - 95 - 64 - 66 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 37 - 34 - 35 - 31 - 5 - 84 - 61 - 53 - 55 - 67 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 6 - 83 - 98 - 92 - 97 - 14 - 16 - 23 - 65 - 44 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 46 - 38 - 36 - 51 - 60 - 72 - 68 - 62 - 58 - 42 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 24 - 17 - 13 - 75 - 71 - 81 - 80 - 88 - 89 - 90 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 47 - 43 - 2 - 1 - 12 - 15 - 99 - 85 - 82 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 93 - 94 - 76 - 87 - 96 - 9 - 10 - 8 - 86 - 100 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 29 - 41 - 48 - 69 - 0
24 Distance: 2453.175291501167

```

Rozwiązanie zakłada 11 pojazdów, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.



## 4.5. C102

```
1 Fitness: 0.0003591454047091308
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 99 - 88 - 85 - 86 - 2 - 62 - 23 - 70 - 76 - 72 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 43 - 49 - 36 - 30 - 22 - 20 - 27 - 6 - 12 - 15 - 3 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 17 - 38 - 75 - 100 - 92 - 91 - 81 - 82 - 67 - 59 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 31 - 34 - 39 - 13 - 69 - 44 - 51 - 32 - 52 - 54 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 47 - 29 - 37 - 35 - 19 - 10 - 5 - 93 - 95 - 94 - 84 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 64 - 57 - 46 - 58 - 60 - 45 - 21 - 25 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 11 - 80 - 73 - 78 - 79 - 61 - 89 - 56 - 33 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 14 - 8 - 9 - 55 - 63 - 41 - 40 - 7 - 4 - 96 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 26 - 65 - 87 - 16 - 66 - 74 - 90 - 28 - 50 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 77 - 71 - 42 - 68 - 48 - 97 - 98 - 83 - 53 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 24 - 1 - 18 - 0
24 Distance: 2784.387568065621
```

Rozwiązanie zakłada 11 pojazdów, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

## 4.6. C103

```
1 Fitness: 0.0004177225136357426
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 21 - 24 - 11 - 89 - 19 - 14 - 30 - 53 - 54 - 72 - 0
4 Vehicle 2's route:
5 0 - 8 - 26 - 88 - 86 - 84 - 1 - 7 - 4 - 13 - 22 - 0
6 Vehicle 3's route:
7 0 - 60 - 40 - 36 - 49 - 67 - 80 - 81 - 73 - 62 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 100 - 95 - 94 - 50 - 46 - 56 - 59 - 61 - 82 - 91 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 5 - 3 - 23 - 87 - 78 - 77 - 83 - 44 - 69 - 52 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 71 - 70 - 76 - 79 - 74 - 65 - 63 - 42 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 92 - 93 - 97 - 2 - 20 - 48 - 18 - 38 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 17 - 34 - 29 - 28 - 6 - 10 - 90 - 51 - 47 - 43 - 66 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 55 - 58 - 57 - 64 - 35 - 37 - 16 - 12 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 32 - 41 - 45 - 85 - 98 - 96 - 99 - 75 - 9 - 15 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 33 - 31 - 39 - 25 - 27 - 68 - 0
24 Distance: 2393.93369367687
```

Rozwiązanie zakłada 11 pojazdów, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.7. RC101

```
1 Fitness: 0.0003230308863651023
2   Vehicle 1's route:
3   0 - 98 - 68 - 34 - 50 - 0
4   Vehicle 2's route:
5   0 - 45 - 79 - 73 - 78 - 76 - 0
6   Vehicle 3's route:
7   0 - 16 - 87 - 22 - 92 - 0
8   Vehicle 4's route:
9   0 - 42 - 85 - 97 - 0
10  Vehicle 5's route:
11  0 - 100 - 1 - 8 - 7 - 82 - 52 - 0
12  Vehicle 6's route:
13  0 - 37 - 38 - 94 - 30 - 62 - 0
14  Vehicle 7's route:
15  0 - 3 - 44 - 56 - 95 - 0
16  Vehicle 8's route:
17  0 - 46 - 43 - 54 - 69 - 90 - 0
18  Vehicle 9's route:
19  0 - 32 - 31 - 33 - 71 - 0
20  Vehicle 10's route:
21  0 - 21 - 24 - 77 - 19 - 48 - 18 - 83 - 64 - 0
22  Vehicle 11's route:
23  0 - 41 - 70 - 4 - 2 - 5 - 0
24  Vehicle 12's route:
25  0 - 63 - 84 - 51 - 29 - 28 - 0
26  Vehicle 13's route:
27  0 - 39 - 81 - 80 - 35 - 0
28  Vehicle 14's route:
29  0 - 12 - 60 - 10 - 59 - 55 - 61 - 0
30  Vehicle 15's route:
31  0 - 91 - 26 - 27 - 72 - 96 - 0
32  Vehicle 16's route:
33  0 - 20 - 49 - 23 - 86 - 66 - 93 - 0
34  Vehicle 17's route:
35  0 - 11 - 53 - 88 - 6 - 0
36  Vehicle 18's route:
37  0 - 75 - 17 - 47 - 14 - 15 - 13 - 0
38  Vehicle 19's route:
39  0 - 89 - 25 - 57 - 0
40  Vehicle 20's route:
41  0 - 36 - 67 - 40 - 0
42  Vehicle 21's route:
43  0 - 9 - 74 - 58 - 65 - 99 - 0
44 Distance: 3095.6792127603567
```

Rozwiązanie zakłada 21 pojazdów, co jest liczbą o 7 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

## 4.8. RC102

```
1 Fitness: 0.0003167750033698801
2   Vehicle 1's route:
3   0 - 99 - 7 - 73 - 82 - 0
4   Vehicle 2's route:
5   0 - 5 - 43 - 40 - 24 - 0
6   Vehicle 3's route:
7   0 - 10 - 47 - 12 - 13 - 9 - 63 - 91 - 0
8   Vehicle 4's route:
9   0 - 25 - 75 - 97 - 59 - 0
10  Vehicle 5's route:
11  0 - 8 - 83 - 65 - 41 - 68 - 0
12  Vehicle 6's route:
13  0 - 18 - 85 - 80 - 93 - 100 - 0
14  Vehicle 7's route:
15  0 - 27 - 31 - 20 - 84 - 96 - 0
16  Vehicle 8's route:
17  0 - 76 - 77 - 3 - 0
18  Vehicle 9's route:
19  0 - 58 - 86 - 23 - 19 - 48 - 95 - 0
20  Vehicle 10's route:
21  0 - 52 - 57 - 22 - 61 - 38 - 39 - 0
22  Vehicle 11's route:
23  0 - 66 - 16 - 79 - 6 - 60 - 2 - 0
24  Vehicle 12's route:
25  0 - 34 - 36 - 37 - 53 - 0
26  Vehicle 13's route:
27  0 - 78 - 87 - 11 - 17 - 15 - 14 - 0
28  Vehicle 14's route:
29  0 - 44 - 71 - 62 - 64 - 92 - 94 - 0
30  Vehicle 15's route:
31  0 - 55 - 4 - 45 - 46 - 35 - 42 - 0
32  Vehicle 16's route:
33  0 - 28 - 89 - 54 - 0
34  Vehicle 17's route:
35  0 - 49 - 56 - 50 - 32 - 26 - 29 - 0
36  Vehicle 18's route:
37  0 - 72 - 67 - 51 - 21 - 74 - 0
38  Vehicle 19's route:
39  0 - 30 - 33 - 1 - 81 - 0
40  Vehicle 20's route:
41  0 - 90 - 88 - 98 - 70 - 69 - 0
42 Distance: 3156.814740310671
```

Rozwiązanie zakłada 20 pojazdów, co jest liczbą o 8 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

## 4.9. RC103

```
1 Fitness: 0.00030996879593498305
2   Vehicle 1's route:
3   0 - 29 - 31 - 3 - 0
4   Vehicle 2's route:
5   0 - 57 - 89 - 95 - 82 - 0
6   Vehicle 3's route:
```

```

7 0 - 37 - 33 - 26 - 28 - 0
8 Vehicle 4's route:
9 0 - 55 - 17 - 79 - 59 - 0
10 Vehicle 5's route:
11 0 - 84 - 76 - 21 - 63 - 20 - 0
12 Vehicle 6's route:
13 0 - 10 - 66 - 80 - 56 - 25 - 48 - 0
14 Vehicle 7's route:
15 0 - 83 - 19 - 49 - 15 - 11 - 86 - 0
16 Vehicle 8's route:
17 0 - 8 - 2 - 1 - 46 - 88 - 68 - 0
18 Vehicle 9's route:
19 0 - 50 - 34 - 92 - 62 - 64 - 0
20 Vehicle 10's route:
21 0 - 7 - 45 - 5 - 42 - 40 - 4 - 0
22 Vehicle 11's route:
23 0 - 39 - 71 - 36 - 0
24 Vehicle 12's route:
25 0 - 87 - 58 - 98 - 53 - 78 - 0
26 Vehicle 13's route:
27 0 - 43 - 100 - 90 - 85 - 67 - 96 - 0
28 Vehicle 14's route:
29 0 - 22 - 77 - 9 - 12 - 16 - 81 - 0
30 Vehicle 15's route:
31 0 - 72 - 97 - 47 - 73 - 0
32 Vehicle 16's route:
33 0 - 30 - 27 - 18 - 74 - 0
34 Vehicle 17's route:
35 0 - 93 - 70 - 91 - 69 - 99 - 65 - 0
36 Vehicle 18's route:
37 0 - 52 - 75 - 23 - 32 - 0
38 Vehicle 19's route:
39 0 - 24 - 94 - 54 - 41 - 35 - 38 - 44 - 0
40 Vehicle 20's route:
41 0 - 61 - 6 - 60 - 14 - 13 - 51 - 0
42 Distance: 3226.131188410827

```

Rozwiązanie zakłada 20 pojazdów, co jest liczbą o 9 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.10. R201

```

1 Fitness: 0.00040990058088737736
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 99 - 5 - 10 - 88 - 82 - 8 - 13 - 69 -
4 57 - 67 - 62 - 48 - 66 - 79 - 39 - 85 -
5 91 - 41 - 22 - 12 - 75 - 73 - 58 - 61 -
6 74 - 15 - 26 - 77 - 0
7 Vehicle 2's route:
8 0 - 18 - 45 - 64 - 3 - 54 - 76 - 70 -
9 63 - 11 - 32 - 34 - 20 - 68 - 56 -
10 72 - 42 - 43 - 23 - 97 - 38 - 47 -
11 60 - 87 - 83 - 7 - 65 - 33 - 0
12 Vehicle 3's route:
13 0 - 59 - 37 - 93 - 52 - 81 - 80 -
14 25 - 24 - 55 - 4 - 44 - 96 - 6 -

```

```

15 16 - 100 - 94 - 19 - 17 - 46 -
16 50 - 14 - 40 - 92 - 89 - 98 -
17 29 - 31 - 95 - 0
18 Vehicle 4's route:
19 0 - 35 - 71 - 78 - 9 - 30 - 90 -
20 51 - 1 - 21 - 36 - 27 - 28 - 2 -
21 53 - 86 - 84 - 49 - 0
22 Distance: 2439.615962083147

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą równą najlepszemu znanemu wynikowi. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.11. R202

```

1 Fitness: 0.0004065751606916846
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 99 - 44 - 42 - 92 - 39 -
4 41 - 15 - 33 - 95 - 86 - 61 -
5 88 - 75 - 4 - 54 - 50 - 20 -
6 89 - 13 - 28 - 30 - 32 - 71 -
7 80 - 27 - 45 - 19 - 36 - 31 - 0
8 Vehicle 2's route:
9 0 - 21 - 14 - 79 - 51 - 52 -
10 84 - 87 - 62 - 66 - 10 - 90 -
11 58 - 60 - 22 - 74 - 85 - 91 -
12 67 - 59 - 57 - 40 - 38 - 46 -
13 100 - 0
14 Vehicle 3's route:
15 0 - 81 - 9 - 68 - 53 - 82 -
16 18 - 47 - 48 - 83 - 5 - 1 -
17 70 - 34 - 77 - 3 - 78 - 7 -
18 69 - 76 - 37 - 16 - 98 - 72 -
19 29 - 24 - 12 - 93 - 43 - 26 -
20 6 - 8 - 2 - 0
21 Vehicle 4's route:
22 0 - 56 - 55 - 23 - 25 - 94 -
23 96 - 63 - 97 - 17 - 64 - 49 -
24 11 - 65 - 35 - 73 - 0
25 Distance: 2459.5698327924247

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.12. R203

```

1 Fitness: 0.00041203001244536453
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 18 - 1 - 63 - 62 - 84 -
4 86 - 74 - 77 - 73 - 21 - 20 -
5 50 - 80 - 57 - 8 - 97 - 43 -
6 59 - 85 - 99 - 96 - 13 - 40 -
7 60 - 100 - 93 - 94 - 6 - 52 -
8 76 - 34 - 12 - 26 - 0
9 Vehicle 2's route:

```

```

10 0 - 25 - 3 - 58 - 69 - 11 -
11 36 - 27 - 56 - 15 - 14 - 98 -
12 37 - 54 - 16 - 44 - 38 - 5 -
13 23 - 22 - 53 - 75 - 10 - 66 -
14 65 - 55 - 95 - 0
15 Vehicle 3's route:
16 0 - 70 - 9 - 51 - 24 - 72 -
17 32 - 71 - 39 - 41 - 29 - 4 -
18 28 - 46 - 90 - 91 - 61 - 48 -
19 47 - 33 - 64 - 82 - 68 - 78 -
20 35 - 0
21 Vehicle 4's route:
22 0 - 89 - 92 - 42 - 87 - 83 -
23 45 - 17 - 19 - 49 - 88 - 7 -
24 79 - 67 - 2 - 81 - 30 - 31 - 0
25 Distance: 2427.0076688469403

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.13. C201

```

1 Fitness: 0.00042810768399528435
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 8 - 18 - 25 - 14 - 15 -
4 32 - 50 - 46 - 29 - 6 - 5 -
5 1 - 100 - 27 - 52 - 47 - 26 -
6 28 - 41 - 57 - 60 - 59 - 30 -
7 16 - 17 - 23 - 33 - 36 - 70 - 0
8 Vehicle 2's route:
9 0 - 3 - 11 - 92 - 91 - 90 -
10 54 - 55 - 61 - 66 - 42 - 51 -
11 40 - 43 - 21 - 24 - 48 - 64 -
12 78 - 76 - 73 - 80 - 79 - 87 -
13 49 - 72 - 56 - 69 - 31 - 65 - 44 - 0
14 Vehicle 3's route:
15 0 - 7 - 95 - 94 - 4 - 62 -
16 74 - 68 - 63 - 71 - 37 - 39 -
17 13 - 45 - 20 - 75 - 98 - 99 -
18 10 - 22 - 34 - 35 - 38 - 53 -
19 58 - 67 - 9 - 12 - 97 - 2 - 0
20 Vehicle 4's route:
21 0 - 19 - 93 - 88 - 86 -
22 81 - 96 - 83 - 77 - 82 -
23 89 - 85 - 84 - 0
24 Distance: 2335.8608999202525

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.14. C202

```

1 Fitness: 0.00041350989709261547
2 Vehicle 1's route:

```

```

3 0 - 59 - 65 - 50 - 45 - 44 -
4 47 - 96 - 30 - 41 - 74 - 48 -
5 69 - 72 - 49 - 42 - 51 - 29 -
6 18 - 19 - 23 - 37 - 28 - 6 -
7 56 - 57 - 40 - 66 - 33 - 39 - 0
8 Vehicle 2's route:
9 0 - 79 - 62 - 71 - 70 - 54 -
10 53 - 83 - 73 - 58 - 34 - 10 -
11 46 - 60 - 64 - 43 - 68 - 20 -
12 55 - 67 - 4 - 92 - 97 - 87 -
13 93 - 8 - 3 - 9 - 0
14 Vehicle 3's route:
15 0 - 63 - 75 - 1 - 94 - 22 -
16 98 - 5 - 11 - 2 - 25 - 27 -
17 24 - 21 - 12 - 84 - 82 -
18 52 - 32 - 35 - 38 - 14 -
19 13 - 86 - 80 - 77 - 88 -
20 61 - 90 - 89 - 0
21 Vehicle 4's route:
22 0 - 31 - 36 - 26 - 17 - 16 -
23 15 - 91 - 7 - 95 - 99 - 100 -
24 85 - 76 - 81 - 78 - 0
25 Distance: 2418.321803253057

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.15. C203

```

1 Fitness: 0.00034413420967223125
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 6 - 44 - 62 - 2 - 82 -
4 86 - 70 - 80 - 90 - 3 - 65 -
5 64 - 56 - 43 - 91 - 52 - 37 -
6 13 - 1 - 84 - 60 - 58 - 97 -
7 94 - 75 - 89 - 88 - 0
8 Vehicle 2's route:
9 0 - 35 - 45 - 48 - 21 - 15 -
10 53 - 73 - 92 - 95 - 81 - 71 -
11 69 - 42 - 74 - 47 - 79 - 83 -
12 8 - 11 - 85 - 23 - 25 - 18 -
13 30 - 24 - 41 - 51 - 0
14 Vehicle 3's route:
15 0 - 34 - 39 - 33 - 59 - 76 -
16 77 - 22 - 12 - 100 - 4 - 98 -
17 14 - 99 - 16 - 29 - 36 - 38 -
18 50 - 72 - 10 - 19 - 93 - 63 -
19 87 - 55 - 57 - 7 - 5 - 0
20 Vehicle 4's route:
21 0 - 9 - 26 - 28 - 61 - 66 -
22 49 - 54 - 68 - 67 - 96 - 40 -
23 46 - 31 - 27 - 20 - 78 - 32 - 17 - 0
24 Distance: 2905.8430458060084

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdy, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.16. RC201

```

1 Fitness: 0.00036179679313753807
2   Vehicle 1's route:
3   0 - 99 - 57 - 22 - 100 - 2 -
4   85 - 31 - 71 - 94 - 42 - 38 -
5   35 - 40 - 78 - 98 - 56 - 63 -
6   51 - 50 - 23 - 24 - 55 - 34 -
7   32 - 0
8   Vehicle 2's route:
9   0 - 70 - 6 - 10 - 18 - 25 -
10  97 - 75 - 48 - 77 - 52 - 93 -
11  54 - 72 - 88 - 15 - 14 - 79 -
12  89 - 28 - 21 - 58 - 87 - 16 -
13  17 - 69 - 0
14  Vehicle 3's route:
15  0 - 7 - 1 - 3 - 86 - 9 - 13 -
16  59 - 30 - 27 - 29 - 84 - 92 -
17  61 - 62 - 95 - 11 - 82 - 65 -
18  64 - 83 - 81 - 60 - 80 - 49 -
19  19 - 0
20  Vehicle 4's route:
21  0 - 4 - 46 - 45 - 41 - 43 -
22  68 - 66 - 39 - 36 - 37 - 8 -
23  44 - 96 - 47 - 12 - 53 - 67 -
24  20 - 74 - 76 - 33 - 26 - 91 -
25  90 - 0
26  Vehicle 5's route: 0 - 5 - 73 - 0
27 Distance: 2763.982486765291

```

Rozwiązanie zakłada 5 pojazdów, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.17. RC202

```

1 Fitness: 0.0003478596884965258
2   Vehicle 1's route:
3   0 - 83 - 59 - 51 - 67 - 27 -
4   26 - 29 - 31 - 30 - 62 - 79 -
5   55 - 60 - 68 - 69 - 82 - 4 -
6   98 - 99 - 20 - 24 - 58 - 54 -
7   63 - 76 - 0
8   Vehicle 2's route:
9   0 - 16 - 78 - 7 - 10 - 12 -
10  33 - 72 - 36 - 37 - 41 - 2 -
11  5 - 3 - 18 - 77 - 48 - 94 -
12  34 - 84 - 75 - 11 - 66 - 90 - 0
13  Vehicle 3's route:
14  0 - 52 - 93 - 96 - 40 - 39 -
15  45 - 8 - 35 - 73 - 57 - 70 -
16  38 - 81 - 91 - 56 - 71 - 50 -

```



```

17 32 - 28 - 89 - 6 - 1 - 61 - 0
18 Vehicle 4's route:
19 0 - 87 - 17 - 13 - 47 - 64 -
20 85 - 49 - 23 - 44 - 46 - 25 -
21 22 - 21 - 86 - 74 - 53 - 88 -
22 9 - 19 - 92 - 42 - 100 - 43 - 80 - 0
23 Vehicle 5's route: 0 - 95 - 65 - 97 - 15 - 14 - 0
24 Distance: 2874.7222890990065

```

Rozwiązanie zakłada 5 pojazdów, co jest liczbą o 2 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

#### 4.18. RC203

```

1 Fitness: 0.00037086567537253715
2 Vehicle 1's route:
3 0 - 59 - 58 - 83 - 56 - 41 -
4 71 - 61 - 48 - 33 - 19 - 22 -
5 25 - 11 - 13 - 97 - 74 - 5 -
6 1 - 3 - 82 - 93 - 43 - 42 - 2 - 0
7 Vehicle 2's route:
8 0 - 72 - 28 - 51 - 21 - 24 -
9 91 - 85 - 76 - 34 - 29 - 30 -
10 31 - 67 - 94 - 35 - 37 - 15 -
11 75 - 32 - 27 - 95 - 17 - 16 - 73 - 0
12 Vehicle 3's route:
13 0 - 50 - 26 - 62 - 92 - 88 -
14 60 - 86 - 84 - 66 - 90 - 8 -
15 4 - 45 - 63 - 49 - 87 - 20 -
16 89 - 18 - 77 - 9 - 46 - 69 -
17 80 - 96 - 0
18 Vehicle 4's route:
19 0 - 65 - 99 - 52 - 23 - 64 -
20 81 - 39 - 70 - 14 - 12 - 57 -
21 53 - 7 - 55 - 98 - 47 - 79 -
22 6 - 10 - 78 - 36 - 40 - 38 -
23 68 - 100 - 54 - 44 - 0
24 Distance: 2696.394048857428

```

Rozwiązanie zakłada 4 pojazdów, co jest liczbą o 1 większą od najlepszego znanego wyniku. Dystans jaki wyliczono dla wszystkich podścieżek wynosi znacznie więcej niż ten przedstawiony w najlepszych wynikach.

## 5. Wnioski

Zastosowany algorytm genetyczny sprawdza się dość dobrze do rozwiązywania problemu planowania dostaw. Szczególnie dobre wyniki osiąga pod względem ilości potrzebnych pojazdów. Wymaga jednak udoskonaleń pod względem dystansu jaki powinien zostać przebyty sumarycznie przez wszystkie pojazdy. Wyniki te mogą się tak różnić ponieważ nie mamy zaimplementowanej funkcjonalności dobierania kolejnych punktów ścieżki na podstawie najmniejszej odległości. Nie wykluczam też możliwości że moja metoda obliczania dystansu nie pokrywa się z tą zastosowaną w tabeli dr. Salomona.

- Ilości zastosowanych pojazdów wskazują, że algorytm z zastosowanymi parametrami sprawuje się dobrze i jest w stanie uzyskać dość optymalny wynik dla zadanych danych.
- Dzięki zastosowanej selekcji hybrydowej nie traciliśmy najlepszych osobników i szybciej otrzymywaliśmy satysfakcjonujący wynik.
- Zastosowana metoda krzyżowania pozytywnie wpływa na wyniki, ponieważ nie zaburza w dużym stopniu ciągłości ścieżki oraz nie pozwala na powtarzanie się klientów.
- Zastosowana metoda mutacji pozytywnie wpływa na wyniki, ponieważ nie zaburza w dużym stopniu ciągłości ścieżki oraz nie pozwala na powtarzanie się klientów.
- Wyższe parametry `mutation_rate = 0.05` i `crossover_rate=0.9` wpływały pozytywnie na otrzymywane wyniki przy obecności danych C (clustered) lub RC. Natomiast nieco niższe wartości `mutation_rate = 0.01` i `crossover_rate=0.8` lepiej sprawdzały się przy danych typu R.
- Większej ilości iteracji algorytmu genetycznego wymagały dane typu RC.
- Zaimplementowany algorytm genetyczny sprawdzał się najlepiej dla danych typu R.
- Potencjalnym ulepszeniem zaimplementowanego algorytmu mogłoby być tworzenie populacji początkowych osobników za pomocą algorytmu dobierającego kolejny punkt na ścieżce tak aby był w jak najmniejszej odległości od poprzedniego punktu.

## Literatura

- [1] T. Oetiker, H. Partl, I. Hyna, E. Schlegl. *Nie za krótkie wprowadzenie do systemu L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2e*, 2007; dostępny online.
- [2] dr inż. Joanna Ochelska-Mierzejewska *Wykład 06*, 2021/22; dostępny online na platformie Wikamp
- [3] Dane benchmarkowe i najlepsze znane wyniki *Marius M. Solomon*; dostępne online: <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>
- [4] Filmik edukacyjny na temat krzyżowania Partially Mapped Crossover, dostępny online: [https://www.youtube.com/watch?v=ZtaHg1C25Kk&ab\\_channel=NoureddinSadawi](https://www.youtube.com/watch?v=ZtaHg1C25Kk&ab_channel=NoureddinSadawi)