

PROJEKTOWANIE EFEKTYWNYCH ALGORYTMÓW
ZADANIE PROJEKTOWE NR.2

IMPLEMENTACJA I ANALIZA EFEKTYWNOŚCI
ALGORYTMU TABU SEARCH ORAZ SYMULOWANEGO
WYŻARZANIA

Autor:

Alicja Myśliwiec 248867

Termin zajęć:

Poniedziałek 15.15 – 16.55

Prowadzący:

Dr inż. Jarosław Mierzwa

SPIS TREŚCI

1	<u>WSTĘP TEORETYCZNY</u>	3
1.1	SYMULOWANE WYŻARZANIE	3
1.2	TABU SEARCH	4
1.3	OPIS NAJWAŻNIEJSZYCH KLAS	4
2	<u>PLAN PROJEKTU</u>	5
3	<u>ANALIZA WYNIKÓW</u>	6
3.1	SYMULOWANE WYŻARZANIE	6
3.1	TABU SEARCH	9
4	<u>NAJLEPSZE DROGI</u>	11
4.1	PLIK FTV47.ATSP	11
4.2	PLIKFTV170.ATSP	11
4.3	PLIK RBG403.ATSP	12
5	<u>WNIOSKI</u>	14
6	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	16

SPIS TABEL:

Tabela 1 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.99.....	6
Tabela 2 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.95.....	6
Tabela 3 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.90.....	7
Tabela 4 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników	9

SPIS WYKRESÓW:

Wykres 1 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik ftv47.atsp	8
Wykres 2 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik ftv170.atsp	8
Wykres 3 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik rbg403.atsp	8
Wykres 4 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik ftv47.atsp.....	10
Wykres 5 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik ftv170.atsp.....	10
Wykres 6 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik rbg403.atsp	10

1 Wstęp teoretyczny

Drugie zadanie projektowe polegało na implementacji i analizie efektywności algorytmów opartych na przeszukiwaniu lokalnym. Algorytmy, które rozpatrujemy na tym etapie to przeszukiwanie z zakazami, czyli Tabu Search oraz symulowanie wyżarzanie – Simulated Annealing. W porównaniu do algorytmów, którymi zajmowaliśmy się w pierwszym etapie, nie znajdują one idealnego rozwiązania. Opierają się na heurystyce, zatem rozwiązanie jest wystarczająco dobre, a czas jego znalezienia akceptowalny. Każdy z rozpatrywanych algorytmów polega na przeszukaniu pewnych obszarów całej przestrzeni rozwiązań tzw. sąsiedztw. Początkowo wybierane jest losowe rozwiązanie, którego sąsiedztwo będzie przeglądane w następnych krokach algorytmu. Co ważne, sąsiednie rozwiązanie musi znacząco różnić się od rozwiązania początkowego. Zbiór wszystkich możliwych do uzyskania rozwiązań jest nazywany właśnie sąsiedztwem. Algorytm Tabu Search różni się od algorytmu symulowanego wyżarzania sposobem przeglądania sąsiedztwa aż do osiągnięcia kryterium stopu. Symulowane Wyżarzanie

1.1 Symulowane wyżarzanie

Symulowane wyżarzanie jest to proces odprężania (wyżarzania) polegający na powolnym obniżaniu temperatury tak, by w każdej temperaturze materiał mógł osiągnąć stan równowagi. Takie postępowanie zapobiega powstawaniu wewnętrznych naprężeń i pozwala na osiągnięcie globalnego minimum energii, odpowiadające idealnemu kryształowi. Wyznaczenie stanu najniższej energii jest problemem optymalizacyjnym, stąd fizyczny proces odprężania posłużył jako wzór do opracowania nowej techniki optymalizacji globalnej. Działanie algorytmu polega na badaniu różnych obszarów przestrzeni rozwiązań. Algorytm symulowanego wyżarzania działa iteracyjnie, krok po kroku zbliżając się do rozwiązania optymalnego. Jako kolejne przybliżenie rozwiązania może być wybrany dowolny element przestrzeni potencjalnych rozwiązań. Jego wybór jest uzależniony od dwóch podstawowych czynników:

- Różnica wartości między starym rozwiązaniem, a propozycją nowego
- Parametr – temperatura

Jeżeli propozycja nowego rozwiązania jest lepsza od swego poprzednika, to zostaje ona zatwierdzona jako nowe rozwiązanie. Natomiast jeśli jest gorsza, akceptuje się to rozwiązanie z pewnym prawdopodobieństwem. Prawdopodobieństwo wyboru nowej (gorszej) propozycji jest tym mniejsze, im różnica między rozwiązaniami jest większe. Ma to na celu ograniczenie zbytniego oddalenia się od wcześniej znalezionego rozwiązania. Parametr nazywany temperaturą reguluje proces wyboru kolejnych przybliżeń w przypadku, gdy propozycja nowego rozwiązania jest gorsza. Temperatura w trakcie działania algorytmu jest stale obniżana. W kolejnych krokach maleje szansa przejścia do gorszego rozwiązania.

1.2 Tabu Search

Algorytm Tabu jest metaheurystyką do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych, opartą o iteracyjne przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań, wykorzystującą sąsiedztwo pewnych rozwiązań, zapamiętującą niektóre ruchy i częstość ich występowania, w celu unikania minimów lokalnych i poszukiwania rozwiązań globalnie optymalnych w rozsądnym czasie. Tabu Search rozumiane jest jako nakładanie ograniczeń i wykorzystanie tych ograniczeń w celu właśnie unikania minimów lokalnych i cykli oraz przeszukiwania przestrzeni rozwiązań w obszarach obiecujących ze względu na możliwość znalezienia rozwiązań globalnie optymalnych. Zastosowanie Tabu Search wymaga elementów charakterystycznych tej metody:

- Funkcja oceny ruchu – im jej wartość wyższa, tym rozwiązanie lepsze
- Lista ruchów zakazanych
- Kryterium aspiracji
- Strategia dywersyfikacja
- Metoda zdarzeń krytycznych
- Warunek zakończenia

W przypadku problemu komiwojażera najprostszą funkcją oceny jest różnica pomiędzy wartościami dwóch ścieżek. Ruch jest zakazany, jeżeli pewien jego atrybut znajduje się na liście ruchów zakazanych. Kadencja określa liczbę iteracji, przez którą element znajduje się na liście tabu. Zastosowanie takiej listy może prowadzić do pomijania niektórych bardzo dobrych ruchów. Kryterium aspiracji to rezygnacja ze ścisłego podporządkowania się zasadom, jeśli ich złamanie prowadzi do znacznie lepszego rozwiązania. Jest to warunek, który mówi o tym, że jeśli w otoczeniu rozwiązania znalezione zostało znakomite rozwiązanie będące na liście tabu, to właśnie ono jest brane jako kolejne, czyli kryterium aspiracji anuluje zakaz ruchu wynikający z listy tabu. Strategia dywersyfikacji jest procedurą pozwalającą na przeszukiwanie różnych obszarów przestrzeni stanów natomiast funkcja zdarzeń krytycznych przyjmuje wartość true jeżeli wystąpiły warunki powodujące konieczność wygenerowania nowego rozwiązania startowego. Warunkiem końcowym może być wykonanie zadanej liczby iteracji, uzyskanie satysfakcjonującego rozwiązania lub wyczerpanie się ustalonego czasu.

1.3 Opis najważniejszych klas

- **Menu** – Dzięki tej klasie widzimy menu startowe projektu. Mamy możliwość wczytania danych z pliku, ustawienia parametrów i wywołania algorytmów.
- **Graf** – Ta klasa reprezentuje miasta i odległości między nimi. Ma funkcję pozwalającą wczytać graf z pliku.
- **TS** – Klasa odpowiadająca za algorytm Tabu Search. Znajduje się w niej funkcja algorytmu zachłannego, liczenie najlepszej ścieżki oraz wyznaczanie najlepszego dozwolonego ruchu.
- **Ruch** – klasa opisująca pojedynczy ruch, posiada funkcję zmniejszania kadencji.
- **SW** – Klasa odpowiadająca za algorytm Symulowanego Wyżarzania, posiada funkcję algorytmu zachłannego, liczenie najlepszej ścieżki, wyznaczanie prawdopodobieństwa oraz liczenia początkowej temperatury.

2 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 określone jako dopuszczalny czas wykonania algorytmu i zostało uzależnione od wielkości instancji oraz w przypadku algorytmu Symulowanego Wyżarzania – od współczynnika zmiany temperatury. Współczynniki zmiany temperatury to: 0.99, 0.95, 0.90. Dopuszczalny czas wykonania algorytmów to: ftv47.atsp – 2 minuty, ftv170.atsp – 4 minuty, rbg403.atsp – 6 minut. Dla obydwu algorytmów został określony taki sam rodzaj sąsiedztwa – zamiana miejscami dwóch wierzchołków. Początkowe rozwiązanie wyznaczane jest za pomocą algorytmu zachłannego. Dla Symulowanego Wyżarzania należało określić funkcję obliczającą temperaturę w zależności od danych wejściowych.

Obliczanie temperatury początkowej polega na 10 000 krotnym spróbkowaniu przestrzeni rozwiązań. Należy 10 000 razy wygenerować losowe rozwiązanie oraz jego sąsiada, obliczyć różnicę w jakości uzyskanych rozwiązań, na podstawie pobranych próbek określić średnią wartość różnicy i podstawić ją do wzoru na temperaturę początkową:

$$T = \frac{-\delta}{\log(0.99)}$$

gdzie:

δ – średnia różnica

3 Analiza wyników

3.1 Symulowane Wyżarzanie

Tabela 1 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.99

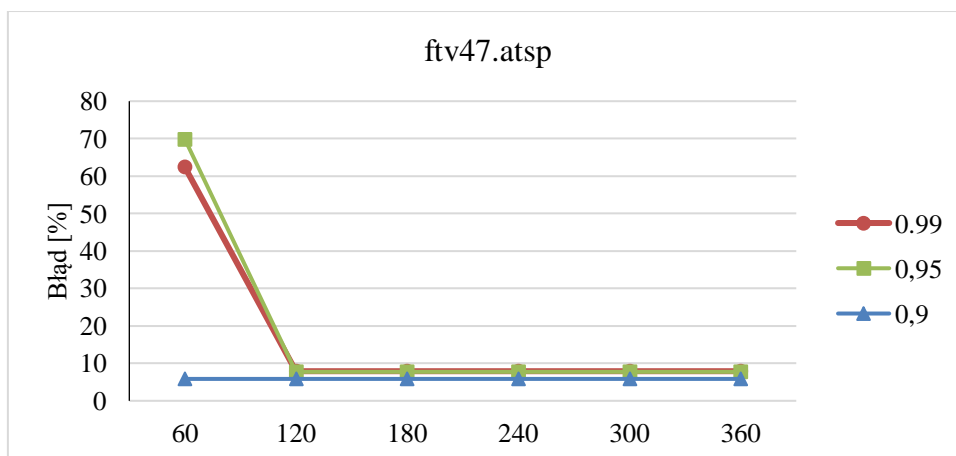
Współczynnik zmiany temperatury = 0,99												
Plik	Ftv47.atsp				Ftv170.atsp				Rbg403.atsp			
Nr	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk
1	1853	4.34	82.85	0.578	4458	61.81	239.18	0.124	2638	7.02	357.03	0.963
2	1894	6.64	85.37	0.619	4294	55.86	192.23	0.244	2819	14.36	358.96	0.542
3	1892	6.53	79.99	0.221	4195	52.27	209.42	0.181	2639	7.06	352.42	0.837
4	1889	6.36	75.72	0.086	3951	43.43	174.31	0.238	2827	14.69	357.98	0.505
5	1982	11.60	88.07	0.063	4185	51.91	166.78	0.201	2599	5.44	352.39	0.453
6	1846	3.94	71.67	0.092	4147	50.53	179.72	0.156	2541	3.08	349.75	0.517
7	1861	4.79	71.75	0.098	4151	50.67	177.12	0.189	2582	4.75	356.47	0.467
8	1949	9.74	74.68	0.096	4453	61.63	239.47	0.182	2607	5.76	340.71	0.423
9	1936	9.00	73.86	0.205	4164	51.14	190.92	0.276	2902	17.73	348.71	0.498
10	1931	8.73	81.05	0.224	4158	50.93	186.592	0.186	2758	11.89	357.33	0.542
Czas[s]	Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]	
60	2884		62,38		4525		64,23		3104		25,92	
120	1916		7,91		4358		58,20		2921		18,49	
180	1916		7,91		4273		55,09		2642		7,16	
240	1916		7,91		4266		54,85		2590		5,06	
300	1916		7,91		4266		54,85		2559		3,81	
360	1916		7,91		4256		54,49		2550		3,45	

Tabela 2 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.95

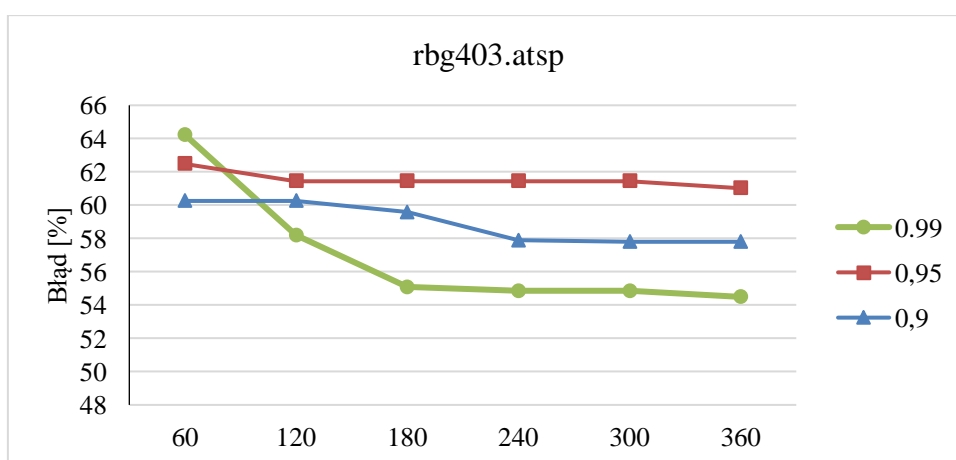
Współczynnik zmiany temperatury = 0,95												
Plik	Ftv47.atsp				Ftv170.atsp				Rbg403.atsp			
Nr	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk
1	1941	9.29	77.87	0.265	4060	47.37	164.78	0.142	2598	5.40	350.85	0.602
2	1948	9.68	67.53	0.042	4172	51.43	238.43	0.143	2610	5.88	351.58	0.380
3	1895	6.70	72.63	0.049	4246	54.12	176.81	0.131	2573	4.38	354.87	0.326
4	1800	1.35	73.55	0.058	4069	47.70	229.36	0.891	2563	3.98	277.81	0.112
5	1902	7.09	65.29	0.022	3944	43.16	176.89	0.122	2508	1.74	340.45	0.011
6	1886	6.19	63.19	0.071	4184	51.87	198.60	0.099	2517	2.11	345.26	0.145
7	1858	4.62	63.51	0.057	4096	48.68	200.31	0.144	2903	17.77	364.12	0.871
8	1901	7.04	67.29	0.081	4291	55.75	163.25	0.112	2514	1.99	332.38	0.012
9	1949	9.74	62.88	0.042	3799	37.90	217.29	0.110	2533	2.76	358.92	0.150
10	1930	8.67	68.83	0.027	4268	54.92	159.84	0.179	2552	3.53	352.63	0.123
Czas[s]	Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]	
60	3017		69,85		4476		62,48		3107		26,032	
120	1913		7,74		4448		61,45		3000		21,71	
180	1913		7,74		4448		61,45		2652		7,59	
240	1913		7,74		4448		61,45		2606		5,72	
300	1913		7,74		4448		61,45		2554		3,61	
360	1913		7,74		4436		61,02		2529		2,62	

Tabela 3 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników dla współczynnika zmiany temperatury = 0.90

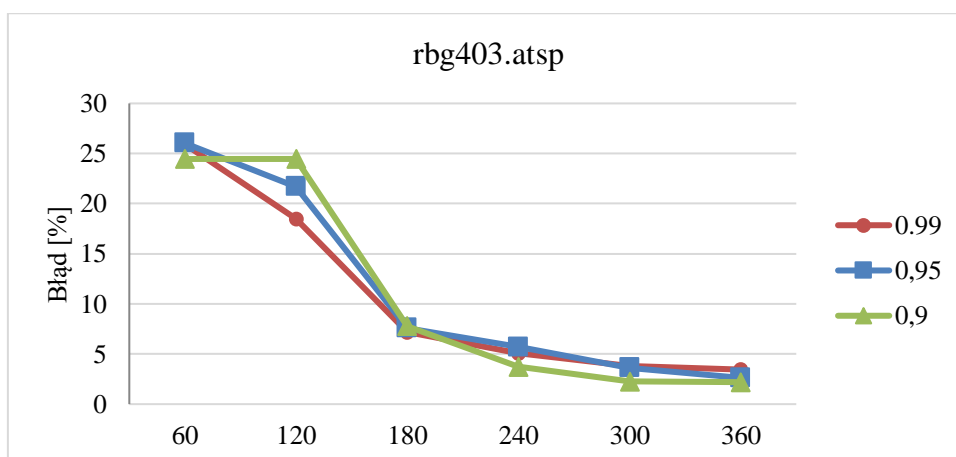
Współczynnik zmiany temperatury = 0,90												
Plik	Ftv47.atsp				Ftv170.atsp				Rbg403.atsp			
Nr	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk	Rozw	Błąd[%]	Czas[s]	Tk
1	1937	9.07	96.07	0.926	4169	51.32	213.11	0.702	2558	3.77	360.38	0.243
2	1929	8.61	87.84	0.744	3956	43.59	207.81	0.978	2494	1.18	357.68	0.985
3	1952	9.91	86.16	0.447	4234	53.68	234.43	0.564	2519	2.19	348.55	0.672
4	1853	4.34	81.05	0.552	4146	50.49	205.36	0.859	2520	2.31	346.51	0.781
5	1847	4.00	80.93	0.443	4012	45.63	239.61	0.792	2512	1.91	338.36	0.445
6	1877	5.69	86.38	0.542	3804	38.08	231.66	0.555	2502	1.50	359.89	0.612
7	1930	8.67	77.70	0.488	4236	53.76	194.36	0.627	2550	3.45	324.86	0.762
8	1885	6.14	82.17	0.443	4163	51.11	192.52	0.573	2490	1.01	343.83	0.084
9	1922	8.22	79.68	0.443	4145	50.45	202.39	0.989	2526	2.47	359.13	0.762
10	1879	5.80	90.97	0.506	4245	54.08	228.03	0.988	2498	1.34	306.55	0.501
Czas[s]	Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]		Rozwiązanie		Błąd[%]	
60	1880		5,85		4415		60,25		3068		24,46	
120	1880		5,85		4415		60,25		3068		24,46	
180	1880		5,85		4397		59,58		2657		7,78	
240	1880		5,85		4350		57,89		2557		3,73	
300	1880		5,85		4347		57,80		2521		2,27	
360	1880		5,85		4347		57,80		2519		2,19	



Wykres 1 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik ftv47.atsp



Wykres 2 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik ftv170.atsp

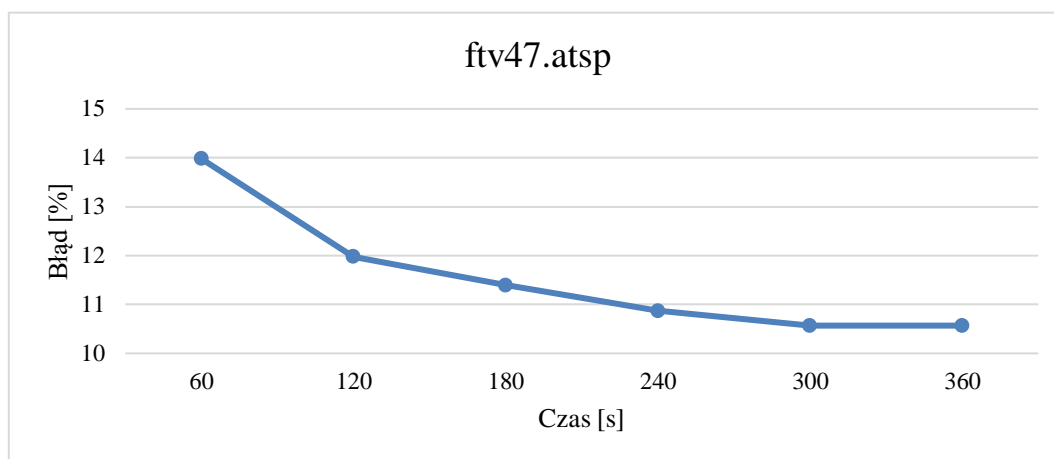


Wykres 3 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Symulowanego Wyżarzania – plik rbg403.atsp

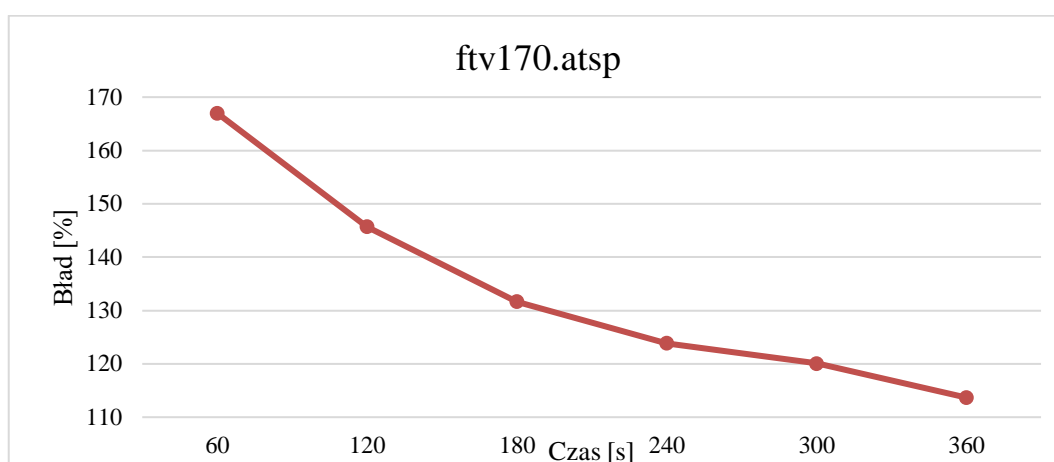
3.1 Tabu Search

Tabela 4 : Zestawienie błędów względnych i czasów wykonania algorytmu oraz uśrednionych wyników

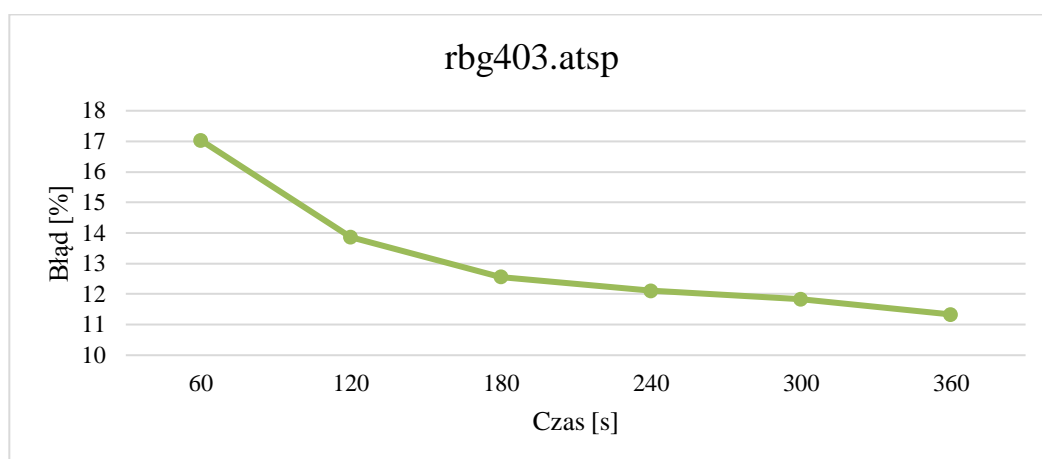
Plik	Ftv47.atsp			Ftv170.atsp			Rbg403.atsp		
Numer	Rozwiązanie	Błąd[%]	Czas[s]	Rozwiązanie	Błąd[%]	Czas[s]	Rozwiązanie	Błąd[%]	Czas[s]
1	2034	14.53	12.315	6366	131.07	181.802	2780	12.78	298.405
2	2012	13.29	105.144	5828	111.54	239.635	2694	9.29	307.781
3	1945	9.52	58,985	5507	99.89	235.901	2757	11.85	353.444
4	1983	11.66	11.031	5566	102.03	230.641	2758	11.89	358.285
5	1948	9.40	44.685	6289	128.28	219.303	2762	12.05	362.039
6	1967	10.75	25.867	5821	111.29	234.102	2734	10.91	316.662
7	1974	11.15	69.796	6435	133.58	233.706	2724	10.51	359.023
8	2017	13.57	117.667	6283	128.06	228.117	2708	9.86	325.718
9	1954	10.02	43.505	6022	118.58	230.998	2698	9.45	294.934
10	1994	12.27	74.606	6036	119.03	231.343	2712	10.00	363.574
Czas[s]	Rozwiązanie	Błąd[%]		Rozwiązanie	Błąd[%]		Rozwiązanie	Błąd[%]	
60	2024	13.98		7356	167,01		2885	17,03	
120	1988	11.98		6769	145,68		2807	13,86	
180	1978	11.40		6382	131,65		2775	12,56	
240	1969	10,87		6167	123,86		2764	12,11	
300	1964	10.57		6063	120,08		2757	11,83	
360	1964	10.57		5887	113,69		2744	11,33	



Wykres 4 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik ftv47.atsp



Wykres 5 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik ftv170.atsp



Wykres 6 : Błąd w funkcji czasu dla algorytmu Tabu Search– plik rbg403.atsp

4 Najlepsze drogi

4.1 Plik ftv47.atsp

a) Algorytm symulowanego wyżarzania:

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

Koszt: 1800

Znaleziono po: 73.55 s

Temperatura końcowa: 0.05872

b) Algorytm Tabu Search:

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

Koszt: 1945

Znaleziono po: 58.985 s

4.2 Plikftv170.atsp

a) Algorytm Symulowanego Wyżarzania:

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

Koszt: 3799

Znaleziono po: 217.29 s

Temperatura końcowa: 0.110

b) Algorytm Tabu Search:

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

Koszt: 5507

Znaleziono po: 235.091 s

4.3 Plik rbg403.atsp

a) Algorytm Symulowanego Wyżarzania:

Droga: 243 – 312 – 35 – 43 – 364 – 303 – 71 – 375 – 191 – 151 – 11 – 284 – 329 – 294 – 395 – 217 – 349 – 29 – 213 – 278 – 297 – 169 – 27 – 360 – 62 – 176 – 156 – 390 – 208 – 131 – 311 – 55 – 78 – 226 – 147 – 160 – 365 – 245 – 186 – 53 – 344 – 285 – 282 – 350 – 149 – 51 – 298 – 291 – 315 – 397 – 394 – 225 – 387 – 34 – 139 – 24 – 13 – 336 – 292 – 290 – 345 – 173 – 214 – 246 – 196 – 0 – 111 – 369 – 123 – 399 – 377 – 314 – 59 – 184 – 4 – 126 – 10 – 286 – 273 – 327 – 240 – 219 – 372 – 356 – 171 – 63 – 18 – 124 – 269 – 222 – 185 – 239 – 117 – 307 – 20 – 172 – 26 – 373 – 355 – 354 – 200 – 198 – 159 – 323 – 309 – 99 – 389 – 187 – 38 – 220 – 197 – 295 – 106 – 165 – 234 – 228 – 93 – 384 – 383 – 145 – 58 – 8 – 6 – 177 – 90 – 72 – 224 – 188 – 299 – 259 – 64 – 15 – 388 – 308 – 5 – 135 – 270 – 306 – 52 – 40 – 39 – 221 – 199 – 91 – 167 – 36 – 252 – 371 – 357 – 322 – 102 – 202 – 108 – 351 – 402 – 287 – 281 – 385 – 300 – 264 – 358 – 232 – 42 – 398 – 396 – 107 – 386 – 81 – 22 – 21 – 237 – 241 – 113 – 293 – 242 – 70 – 141 – 116 – 218 – 84 – 46 – 153 – 75 – 248 – 348 – 180 – 359 – 175 – 201 – 118 – 318 – 33 – 376 – 283 – 277 – 263 – 150 – 9 – 23 – 393 – 178 – 100 – 44 – 181 – 346 – 338 – 302 – 89 – 183 – 17 – 279 – 262 – 261 – 170 – 334 – 68 – 65 – 164 – 25 – 332 – 215 – 73 – 92 – 347 – 341 – 193 – 244 – 80 – 142 – 268 – 16 – 2 – 61 – 317 – 77 – 31 – 115 – 66 – 60 – 98 – 109 – 326 – 154 – 316 – 120 – 392 – 276 – 49 – 37 – 54 – 97 – 82 – 247 – 249 – 162 – 48 – 47 – 112 – 235 – 121 – 391 – 325 – 134 – 288 – 374 – 363 – 362 – 86 – 101 – 155 – 143 – 340 – 85 – 206 – 30 – 231 – 205 – 204 – 133 – 253 – 137 – 331 – 378 – 122 – 401 – 319 – 182 – 103 – 136 – 238 – 229 – 14 – 353 – 352 – 166 – 67 – 94 – 87 – 56 – 152 – 310 – 468 – 104 – 203 – 236 – 227 – 381 – 130 – 88 – 96 – 189 – 304 – 260 – 95 – 271 – 272 – 28 – 207 – 45 – 209 – 41 – 337 – 128 – 255 – 366 – 321 – 289 – 129 – 161 – 148 – 210 – 127 – 192 – 114 – 69 – 333 – 267 – 370 – 328 – 83 – 211 – 194 – 324 – 144 – 157 – 339 – 313 – 7 – 119 – 216 – 342 – 190 – 138 – 266 – 110 – 367 – 76 – 174 – 250 – 50 – 230 – 382 – 320 – 251 – 330 – 343 – 125 – 74 – 305 – 296 – 335 – 105 – 19 – 57 – 254 – 223 – 400 – 163 – 3 – 195 – 280 – 12 – 233 – 380 – 379 – 158 – 1 – 179 – 368 – 79 – 301 – 256 – 361 – 146 – 212 – 265 – 275 – 258 – 32 – 274 – 257 – 140 – 132 – 243

Koszt: 2490

Znaleziono po: 343.832 s

Temperatura końcowa: 0.00846435

b) Algorytm Tabu Search:

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

Koszt: 2694

Znalezione po: 307.781 s

5 Wnioski

Eksperyment pozwolił zaobserwować, jak przedstawiają się wyniki rzeczywistych pomiarów w porównaniu z wcześniejszymi założeniami. Tym razem mniejsze znaczenie miał czas wykonania algorytmu, a większe jego dokładność. Oczywiście czas obliczeń zależy w dużym stopniu od wydajności komputera, na którym pracujemy. Oprócz eksperymentu, ma on jeszcze inne zadania do wykonania w tym samym czasie. Procesy działające w tle mogły wpływać na chwilowe spadki mocy obliczeniowej tym samym powodować wolniejsze wykonywanie operacji. Należy również pamiętać, że w wykonywanych zadaniach nie została uwzględniona złożoność pamięciowa, która dałaby jeszcze szerszy obraz wyników eksperymentu. Jednak w przypadku algorytmów heurystycznych bierzemy pod uwagę ich dokładność. Dokładność algorytmu określa oddalenie otrzymywanego rozwiązania od optymalnego. Ocena dokładności ma podstawowe znaczenie w przypadku algorytmów heurystycznych, gdyż algorytmy te nie dają rozwiązań o takiej samej dokładności dla problemów o różnych rozmiarach, co więcej – nie dają rozwiązań powtarzalnych. Powszechnie stosowane są trzy metody: oszacowanie zachowania się w najgorszym przypadku, ocena probabilistyczna i ocena eksperymentalna (wykorzystywana najczęściej). Oszacowanie zachowania się w najgorszym przypadku jest metodą skomplikowaną, a przy tym nie oddającą w pełni najgorszego zachowania się algorytmu dla przeciętnych danych. Dlatego nadaje się jedynie dla stosunkowo prostych algorytmów. Analiza probabilistyczna algorytmów przybliżonych dostarcza informacji dotyczących ich średniego zachowania. Jest bardzo złożona z uwagi na konieczność analitycznego wyznaczenia względnego i bezwzględnego błędu algorytmu, stąd do tej pory przeanalizowano tą metodą niewiele algorytmów. Niedogodności dwóch pierwszych metod decydują o tym, że najchętniej stosuje się metodę eksperymentalną oceny algorytmów przybliżonych. Ocena eksperymentalna służy do badania przeciętnego zachowania się rozwiązań tworzonych przez algorytmy przybliżone. Polega ona na porównaniu rozwiązań generowanych przez dany algorytm z innymi rozwiązaniami (najlepiej – optymalnymi) dla reprezentatywnej próby rozważanego problemu i taka metoda właśnie została wykorzystana w omawianym projekcie. Wyniki eksperymentu i dokładność działania algorytmu zależała od instancji problemu oraz różnicy odległości między miastami. Dla małego pliku, algorytm symulowanego wyżarzania znajdował dobre rozwiązanie w przeciągu 2 minut. Aby zaobserwować lepsze działanie algorytmu, należałoby ustawić większą początkową temperaturę. W przypadku pliku średniego, algorytm radził sobie gorzej i należało bardzo dobrze dobrać parametry, aby zaobserwować zmiany błędu w funkcji czasu. Najlepiej działanie algorytmu zostało pokazane na dużym pliku, gdyż im dłużej algorytm działał, tym znajdował coraz to lepsze rozwiązania. Dość dobre rozwiązanie znajdował już między drugą, a trzecią minutą, a potem je ulepszał. Warto zauważyć, że w przypadku małego pliku, gdy współczynnik zmiany temperatury jest mniejszy i temperatura szybko spadnie, to dobre rozwiązanie znajdowanie jest przed upływem minuty. Istotne jest również dobranie odpowiedniej długości epoki tak, aby temperatura końcowa spadła poniżej jednego, gdyż wtedy prawdopodobieństwo wybrania gorszego rozwiązania jest tak małe, że już raczej nie znajdziemy lepszej ścieżki. Im mniejszy współczynnik zmiany temperatury, tym dłuższą epokę musimy ustawić. Nie może być

ona ani za krótka, ani za długa, gdyż wtedy rozwiązania są nieoptymalne. Jako sposób chłodzenia został wybrany schemat geometryczny, gdyż ma największą przydatność w praktyce – jest najszybszy. Jednak istnieją również inne takie jak liniowy, czy podejście oscylacyjne. Schemat logarytmiczny gwarantuje znalezienie optimum globalnego, jednak średni czas potrzebny do jego osiągnięcia jest porównywalny z rozmiarem przestrzeni rozwiązań. Algorytm Tabu Search działa podobnie dla każdej instancji problemu, mianowicie w każdym następnym kroku znajduje coraz to lepsze rozwiązanie, zatem gdybyśmy wydłużyli czas działania, można by zaobserwować lepsze wyniki. Istotne w przypadku tego algorytmu było dobranie odpowiedniej długości kadencji. Jeżeli jest ona krótka, istnieje większe ryzyko wpadnięcia w cykl w okolicach minimum lokalnego, ale za to dokładność przeszukiwania jest większa. Mamy tutaj do czynienia z intensyfikacją. Natomiast dla długiej kadencji ze względu na większy zakres przeszukiwania, czyli dywersyfikację, jakość rozwiązania jest gorsza z powodu braku dokładniejszego przeszukiwania sąsiedztwa. Dla obu algorytmów różnice między wartością znaną, a optymalną są akceptowalne.

6 Bibliografia

- <https://cs.pwr.edu.pl/zielinski/lectures/om/localsearch.pdf>
- <http://www2.imm.dtu.dk/courses/02719/tabu/4tabu2.pdf>
- http://www.pi.zarz.agh.edu.pl/intObl/notes/IntObl_w2.pdf
- http://155.158.112.25/~algorytmyewolucyjne/materialy/algorytm_symulowanego_wyzarzania.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Tabu_search
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Metaheuristic>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_\(computer_science\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_(computer_science))
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Przeszukiwanie_tabu
- <https://www.youtube.com/watch?v=A7cTp1Fhg9o>
- <https://www.youtube.com/watch?v=wrkMM6a4S-U>
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Symulowane_wy%C5%BCarzenie
- http://algorytmy.ency.pl/artukul/symulowane_wyzarzanie
- http://algorytmy.ency.pl/artukul/algorytmy_heurystyczne
- http://algorytmy.ency.pl/artukul/algorytmy_zachlanne
- <https://nowosad.github.io/ahod/11-simulated-annealing.html#1>
- http://www.zio.iiar.pwr.wroc.pl/pea/w5_ts.pdf
- <https://www.mimuw.edu.pl/~grygiel/woen/woen4.pdf>
- http://iswiki.if.uj.edu.pl/images/2/20/AiSD_22._Symulowane_wy%C5%BCarzenie_%28problem_komiwoja%C5%BCera%29.pdf