

# Programowanie Efektywnych Algorytmów

**Prowadzący zajęcia:** dr inż. Jarosław Mierzwa

**Termin zajęć:** Poniedziałek godz. 15:15

**Autor sprawozdania:**

- Kamil Wojcieszak 264487

**Projekt 2:**

**Zaimplementowane algorytmy:**

- Simulated annealing
- Tabu Search

# 1. Wstęp teoretyczny

## Symulowane wyżarzanie

Nazwa metody jest odniesieniem do zjawiska stygnięcia metali. Jeżeli spadek temperatury jest wystarczający wolny to cząsteczki tworzą równomierną strukturę. Algorytm symulowanego wyżarzania bazuje na metodzie iteracyjnej. Metoda ta zakłada, że ciągle ulepszamy istniejące rozwiązanie, aż w końcu nie będzie można go dalej poprawić. Przejście z jednego rozwiązania do drugiego polega na znalezieniu lepszego rozwiązania sąsiedniego, czyli takiego, który znajduje się w sąsiedztwie wcześniejszego. W algorytmie symulowanego wyżarzania istnieje jednak możliwość wyboru gorszego rozwiązania z pewnym prawdopodobieństwem. Szansa na wybór gorszego rozwiązania jest zależna od m.in. temperatury, która maleje wraz z czasem wykonywania programu. Taki mechanizm sprawia, że podczas wykonywania algorytmu będzie możliwość „wyjścia” z minimum lokalnego, czyli zastąpienie minima lokalnego rozwiązaniem gorszym. Na początku działania algorytmu temperatura jest wysoka, dzięki czemu algorytm może bardzo często zmieniać konfigurację rozwiązania, niejednokrotnie wybierając rozwiązanie gorsze. Wraz z kolejnymi iteracjami algorytmu temperatura spada i wybierane są częściej rozwiązania lepsze. Pod koniec pracy algorytmu, temperatura jest na tyle niska, że prawdopodobieństwo wyboru gorszego rozwiązania jest bliska zeru.

## Tabu Search

Głównym celem algorytmu jest przeszukanie przestrzeni rozwiązań w celu znalezienia jak najbardziej optymalnej trasy dla podróżującego handlowca. Początkowo algorytm generuje losowe rozwiązanie metodą zachłanną (drzewo mst metodą Prima), reprezentujące trasę komiwojażera. Następnie, iteracyjnie, dokonuje sąsiednich przeszukiwań wokół obecnie najlepszego rozwiązania. Kluczowym elementem jest utrzymanie listy ruchów "tabu", której celem jest zapobieganie utknięciu w lokalnych minimach. Ruchy tabu to te, które zostały niedawno wykonane, aby unikać cyklicznego powtarzania tych samych ruchów. Podczas poszukiwań, algorytm ocenia każde nowe rozwiązanie za pomocą funkcji, która określa długość trasy komiwojażera. Ocenia także, czy potencjalny ruch jest na liście tabu, ignorując go lub akceptując w zależności od kryteriów definiowanych przez parametry algorytmu. W miarę postępu iteracji, algorytm stopniowo poprawia rozwiązanie. Algorytm kontynuuje iteracyjne przeszukiwanie, aż osiągnie kryterium stopu w postaci zadanego czasu wykonania.

## 2. Plan eksperymentu

Obliczanie temperatury początkowej odbywa się poprzez 10 000 krotne spróbkowanie przestrzeni rozwiązań. Próbkowanie rozumiane jest jako wygenerowanie losowego rozwiązania oraz jego sąsiada i obliczenie różnicy w jakości uzyskanych w ten sposób rozwiązań. Na podstawie pobranych próbek określana jest średnia wartość różnicy która następnie podstawiana jest do wzoru na temperaturę początkową:

$$T = \frac{-\delta}{\log(0,99)} \quad \text{gdzie } -\delta \text{ to obliczona średnia różnica}$$

# Simulated annealing

Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla SA wsp a 0,85					
Plik	Rozwiązanie	Czas zadany	Czas znalezienia [s]	Temperatura Końcowa	Błąd względny
ftv55.xml	1893	30	4,36	0,00	17,72%
	1789	60	4,78	0,00	11,26%
	1782	120	4,07	0,00	10,82%
	1895	180	4,38	0,00	17,85%
	1903	240	4,45	0,00	18,35%
ftv170.xml	3920	30	28,62	0,67	42,29%
	4223	60	29,17	0,00	53,28%
	4092	120	29,60	0,00	48,53%
	4224	180	29,73	0,00	53,32%
	4279	240	31,58	0,00	55,32%
rbg358.xml	6863	30	30,00	118,21	490,11%
	5135	60	60,00	8,78	341,53%
	1314	120	116,37	0,05	12,98%
	1278	180	145,94	0,00	9,89%
	1304	240	107,27	0,00	12,12%

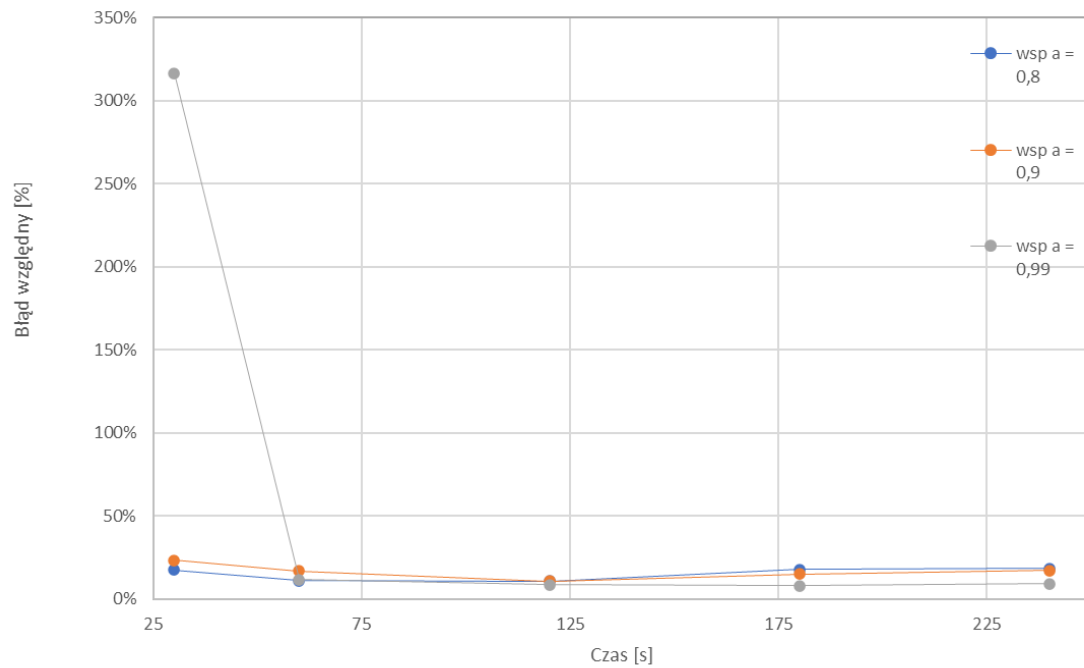
Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla SA wsp a 0,9

Plik	Rozwiązanie	Czas zadany	Czas znalezienia	Temperatura Końcowa	Błąd względny
ftv55.xml	1985	30	7,62	9,48E-16	23,45%
	1881	60	6,21	9,38E-16	16,98%
	1784	120	6,12	9,58E-16	10,95%
	1851	180	6,66	9,48E-16	15,11%
	1884	240	7,09	9,48E-16	17,16%
ftv170.xml	7837	30	30,00	19,4071	184,46%
	4104	60	46,90	0,0232228	48,97%
	4098	120	49,16	2,86E-08	48,75%
	4023	180	47,59	4,49E-14	46,03%
	3659	240	47,60	9,89E-16	32,81%
rbg358.xml	6799	30	30,00	276,561	484,61%
	6555	60	60,00	51,2473	463,63%
	1606	120	120,00	1,87698	38,09%
	1254	180	163,64	0,0604215	7,82%
	1272	240	166,04	0,002213	9,37%

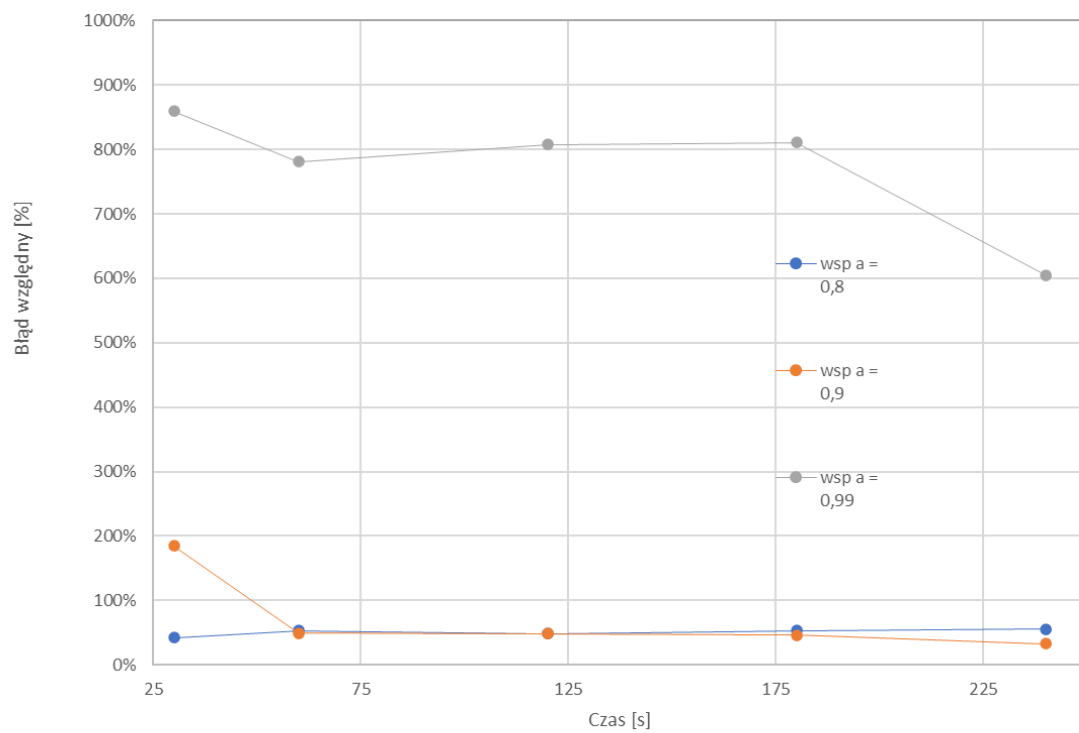
Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla SA wsp a 0,99

Plik	Rozwiązanie	Czas zadany	Czas znalezienia	Temperatura Końcowa	Błąd względny
ftv55.xml	6700	30	30,00	189,144	316,67%
	1798	60	60,00	3,94768	11,82%
	1746	120	79,20	0,000535951	8,58%
	1736	180	79,09	8,29E-08	7,96%
	1758	240	74,75	2,04E-11	9,33%
ftv170.xml	26431	30	30,00	7349,62	859,38%
	24267	60	60,00	4092,1	780,83%
	24999	120	120,00	1225,1	807,40%
	25089	180	180,00	370,474	810,67%
	19415	240	240,00	109,505	604,72%
rbg358.xml	6673	30	30,00	1270,79	473,77%
	6872	60	60,00	1154,16	490,89%
	7084	120	120,00	792,37	509,11%
	6874	180	180,00	574,453	491,06%
	6767	240	240,00	420,674	481,86%

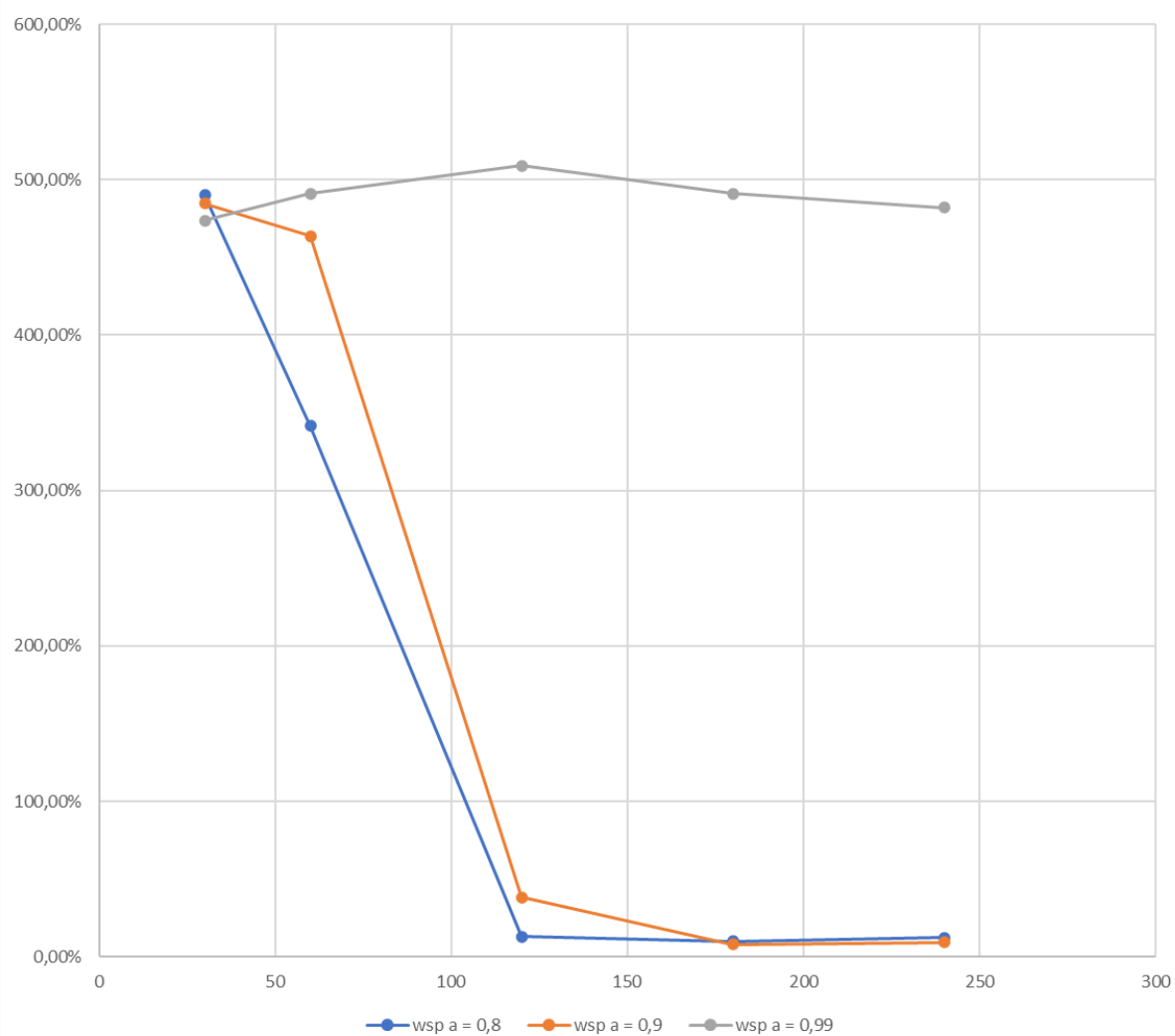
Wykres błędu względnego SA w funkcji czasu dla ftv55.xml



Wykres błędu względnego SA w funkcji czasu dla ftv170.xml



Wykres błędu względnego SA w funkcji czasu dla ftv358.xml



# Tabu Search

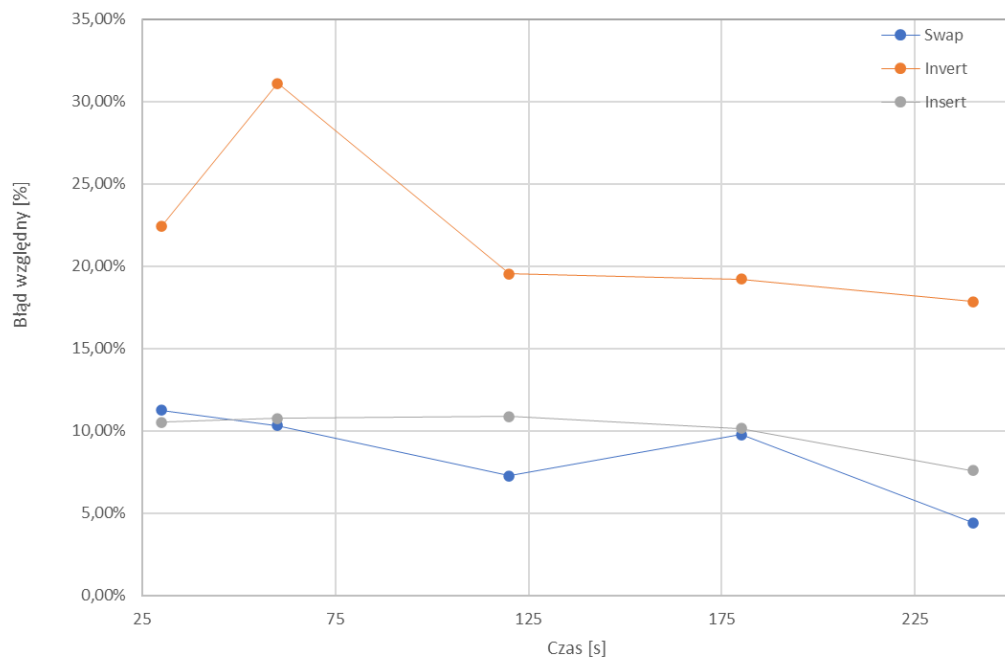
Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla TS sąsiedztwo insert				
Plik	Rozwiązanie	Czas zadany	Czas znalezienia	Błąd względny
ftv55.xml	1777	30	17,88	10,51%
	1781	60	0,51	10,76%
	1783	120	35,91	10,88%
	1771	180	6,66	10,14%
	1730	240	10,24	7,59%
ftv170.xml	3545	30	18,64	28,68%
	3545	60	19,04	28,68%
	3545	120	18,83	28,68%
	3545	180	19,15	28,68%
	3545	240	18,82	28,68%
rbg358.xml	4304	30	29,72	270,08%
	2843	60	59,99	144,45%
	1743	120	119,57	49,87%
	1552	180	170,63	33,45%
	1505	240	239,14	29,41%



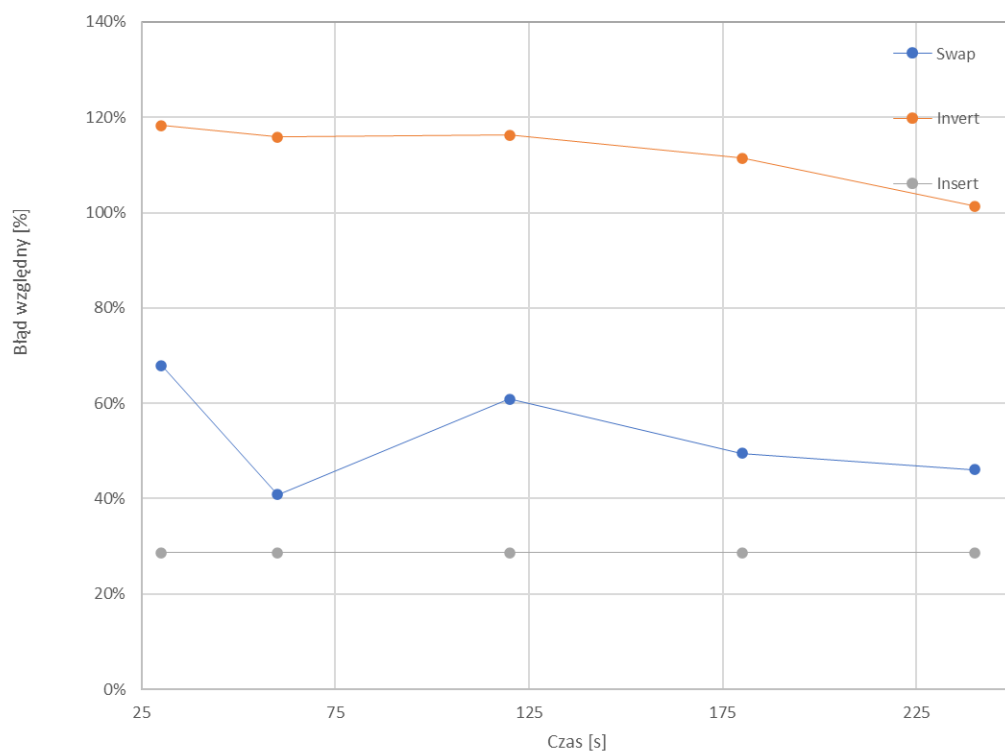
Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla TS sąsiedztwo invert				
Plik	Rozwiązanie	Czas zadany	Czas znalezienia	Błąd względny
ftv55.xml	1969	30	14,69	22,45%
	2108	60	34,02	31,09%
	1922	120	34,46	19,53%
	1917	180	111,53	19,22%
	1895	240	174,65	17,85%
ftv170.xml	6013	30	2,60	118,26%
	5947	60	5,04	115,86%
	5958	120	4,90	116,26%
	5826	180	175,54	111,47%
	5548	240	179,21	101,38%
rbg358.xml	5542	30	29,76	376,53%
	5402	60	56,51	364,49%
	5401	120	119,63	364,40%
	5391	180	101,63	363,54%
	5391	240	100,45	363,54%

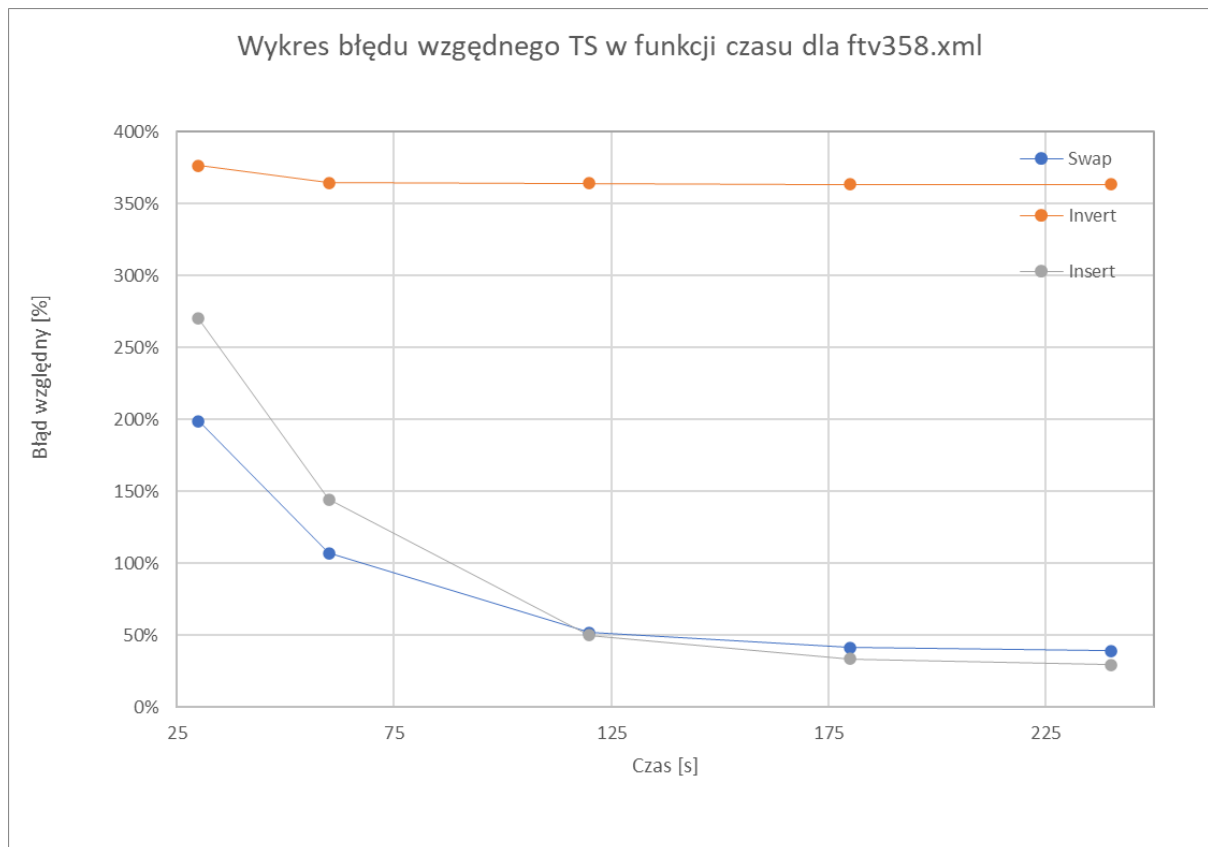
Zestawienie błędów względnych oraz maksymalnego dopuszczalnego czasu dla TS sąsiedztwo swap				
Plik	Rozwiązani e	Czas zadany	Czas znalezienia	Błąd względny
ftv55.xml	1789	30	5,63	11,26%
	1774	60	57,18	10,32%
	1725	120	62,10	7,28%
	1765	180	21,57	9,76%
	1679	240	193,72	4,42%
ftv170.xml	4626	30	24,65	67,91%
	3881	60	47,08	40,87%
	4432	120	42,66	60,87%
	4118	180	176,31	49,47%
	4024	240	183,63	46,06%
rbg358.xml	3478	30	29,78	199,05%
	2408	60	59,89	107,05%
	1766	120	119,99	51,85%
	1645	180	174,40	41,44%
	1617	240	220,06	39,04%

Wykres błędu względnego TS w funkcji czasu dla ftv55.xml



Wykres błędu względnego TS w funkcji czasu dla ftv170.xml





### 3. Wnioski

Z dostarczonych wyników łatwo można zauważyć, że błąd algorytmu bardzo mocno zależy od zadanego czasu. Kiedy jest go za mało oba algorytmy są mało dokładne i produkują duże błędy względem najlepszego znanego rozwiązania.

### Simulated Annealing

Na wykresach łatwo zauważyć, że najwyższe błędy są przy współczynniku równym 0,99. Dzieje się tak, ponieważ temperatura rośnie za wolno i algorytm nie jest w stanie “wystudzić” wyniku. Nie zauważyłem dużych różnic pomiędzy współczynnikiem równym 0,8 i 0,9.

### Tabu Search

W przypadku tabu search’a najgorszą metodą przeszukiwania sąsiedztwa w moim przypadku był invert który produkował dużo gorsze wyniki niż metody swap i insert. Z pozostałych dwóch insert wydaje się być delikatnie lepszy. Też można zauważyć, że dla dużego problemu (plik ftv358.xml) błędy są bardzo duże dla niskich wartości czasu.