

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ INFORMATYKI I TELEKOMUNIKACJI

Projektowanie efektywnych algorytmów

Algorytmy metaheurystyczne poszukiwania lokalnego

ETAP NR 2

PROWADZĄCY:

dr inż. Jarosław Rudy

GRUPA:

A - Wtorek 17:05 TP

AUTOR:

Daniel Glazer, 252743

Wrocław 14.12.2021

Spis treści

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Wprowadzenie teoretyczne | 4 |
| 1.1 | Opis metody | 4 |
| 1.1.1 | Poszukiwanie z zakazami | 4 |
| 1.1.2 | Symulowane wyżarzanie | 4 |
| 2 | Opis implementacji algorytmów | 4 |
| 2.1 | Wstęp | 4 |
| 2.2 | Poszukiwanie z zakazami | 5 |
| 2.2.1 | Parametry startowe algorytmu | 5 |
| 2.2.2 | Opis działania | 5 |
| 2.3 | Symulowane wyżarzanie | 6 |
| 2.3.1 | Parametry startowe algorytmu | 6 |
| 2.3.2 | Opis działania | 6 |
| 3 | Testy zaimplementowanych algorytmów | 7 |
| 3.1 | Poprawność badanych algorytmów | 7 |
| 3.2 | Szukanie najlepszych rozwiązań | 9 |
| 3.3 | Wpływ poszczególnych parametrów na prace poszukiwania z zakazami | 10 |
| 3.4 | Wpływ poszczególnych parametrów na prace symulowanego wyżarzania | 12 |
| 4 | Wykresy | 15 |
| 4.1 | Poszukiwanie z zakazami | 15 |
| 4.2 | Symulowane wyżarzanie | 18 |
| 5 | Wnioski | 22 |

Spis rysunków

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Badanie poprawności algorytmów dla pliku m6.atasp | 7 |
| 2 | Badanie poprawności algorytmów dla pliku m10.atasp | 8 |
| 3 | Wykres wpływu kadencji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji . . | 15 |
| 4 | Wykres wpływu kadencji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji . . | 15 |
| 5 | Wykres wpływu liczby iteracji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 16 |
| 6 | Wykres wpływu liczby iteracji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 16 |
| 7 | Wykres wpływu dzielnika kadencji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 17 |
| 8 | Wykres wpływu dzielnika kadencji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 17 |
| 9 | Wykres wpływu współczynnika alfa na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 18 |
| 10 | Wykres wpływu współczynnika alfa na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 18 |
| 11 | Wykres wpływu liczby epok na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 19 |
| 12 | Wykres wpływu liczby epok na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 19 |
| 13 | Wykres wpływu liczby iteracji w epoce na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 20 |
| 14 | Wykres wpływu liczby iteracji w epoce na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 20 |
| 15 | Wykres wpływu temperatury na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji | 21 |
| 16 | Wykres wpływu temperatury na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji | 21 |

1 Wprowadzenie teoretyczne

1.1 Opis metody

1.1.1 Poszukiwanie z zakazami

Poszukiwanie z zakazami (ang. *Tabu Search (TS)*) jest jedną z metaheurystycznych metod przeszukiwania lokalnego przeznaczona do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Bazuje na dynamicznej zamianie sąsiedztwa danego rozwiązania i szukaniu lokalnie najlepszych rozwiązań. Za pomocą zakazów (tabu) stara się uniknąć minimów lokalnych oraz cykli, w które może dostać się algorytm bez szansy na ich opuszczenie. W przypadku, w którym algorytm znajduje obiecujące rozwiązanie zakazane, które jest lepsze niż obecne rozwiązanie globalne uchyla zakaz w celu poprawy rozwiązania (kryterium aspiracji). Algorytm ten charakteryzuje się brakiem pewności znalezienia optimum brak jawnie sprecyzowanej złożoności obliczeniowej, ponieważ praca algorytmu kończy się wraz z warunkiem zakończenia, który jest zależny od parametrów.

1.1.2 Symulowane wyżarzanie

Algorytm symulowanego wyżarzania (ang. *Simulated Annealing (SA)*) tak jak TS zalicza się do algorytmów przeszukiwania lokalnego, ale w odróżnieniu od poszukiwania z zakazami, nie przeszukuje całego sąsiedztwa dla danego rozwiązania tylko losowo wybiera jedno. Różnica polega też na doborze kolejnych rozwiązań, ponieważ SA pozwala na dobieranie lokalnie gorszych rozwiązań z pewnym prawdopodobieństwem, które jest obliczane na podstawie matematycznego wzoru na prawdopodobieństwo akceptacji. Zasada ta działa w idei dywersyfikacji, ponieważ zmieniając na gorsze rozwiązanie mamy nadzieję na znalezienie w przyszłości lepszego rozwiązania. Wykorzystując funkcje prawdopodobieństwa możemy również umożliwić algorytmowi wychodzenie z minimów lokalnych czy cykli. Tak jak *Tabu Search* algorytm symulowanego wyżarzania nie zapewnia znalezienia optimum, a jego złożoność zależna jest od początkowych parametrów.

2 Opis implementacji algorytmów

2.1 Wstęp

Na starcie każdego wywoływanego algorytmu, wywoływana jest klasa *Matrix*, której celem jest wczytanie danych z pliku i utworzenie dwuwymiarowej tablicy dynamicznej posiadającej długości ścieżek.

2.2 Poszukiwanie z zakazami

2.2.1 Parametry startowe algorytmu

- *iterations* - limit iteracji bez poprawy globalnego optimum, po którym algorytm kończy swoje działanie
- *lifetime* - maksymalny czas działania algorytmu
- *startingVertex* - początkowy wierzchołek, od którego zaczyna się poszukiwana ścieżka
- *tenure* - kadencja, liczba iteracji przez jaką dany ruch jest zakazany na liście tabu
- *dividerTenure* - dzielnik kadencji, po znalezieniu rozwiązania, które jest lepsze niż globalne optimum, dla kolejnej iteracji długość zakazu na dany ruch będzie równa wartości kadencji podzielonej przez jej dzielnik

2.2.2 Opis działania

Działanie algorytmu rozpoczyna się od podania parametrów startowych. W kolejnym kroku na podstawie *startingVertex* i z pomocą funkcji *shuffle* z biblioteki *algorithm* generowana jest startowa globalna ścieżka. Następnie przypisywana jest lokalna ścieżka, która jest kopią obecnej startowej ścieżki oraz uruchamiany jest zegar odpowiedzialny za liczenie czasu. Potem uruchamiana jest główna pętla algorytmu, która rozpoczyna swoje działanie od przeszukiwania sąsiedztwa lokalnej ścieżki. W tym celu dla każdej zamiany pary wierzchołków oprócz wierzchołka początkowego liczona jest różnica zmiany kosztów. Delta kosztów jest podliczana na podstawie odejmowania starych i dodawaniu nowych krawędzi prowadzących przed i po zamianie wierzchołków. Dla tak podliczonych delt wybierane jest minimum. Para wierzchołków, której różnica kosztów była minimum, umieszczana jest na liście tabu, na liczbę iteracji równą *tenure*, lub $tenure \setminus dividerTenure$. Lista tabu składa się z wektora, wektorów, który zawiera pary wierzchołków, oraz liczbę iteracji, na którą dana zamiana jest zakazana. W momencie, w którym podczas szukania najmniejszej różnicy kosztów trafimy na ruch, który jest zakazany, ale koszt ścieżki po zakazanej zamianie jest mniejszy niż koszt ścieżki obecnego globalnego optimum to opierając się na kryterium aspiracji możemy taki ruch wykonać. Po znalezionym minimum lokalnym sprawdzamy czy jest ono lepszym rozwiązaniem niż obecne globalne minimum, jeśli tak to zamieniamy globalne rozwiązanie na rozwiązanie lokalne i resetujemy licznik iteracji, jeśli nie to zwiększamy licznik iteracji. Na sam koniec pętli, sprawdzamy czy nie przekroczyliśmy *lifetime*, gdyby czas działania algorytmu był dłuższy, kończymy działanie pętli. W przeciwnym wypadku powracamy do przeszukiwania sąsiedztwa obecnej lokalnej ścieżki zakładając, że nie został przekroczony limit iteracji bez poprawy globalnego optimum (*iterations*). Po zakończeniu działania pętli wyświetlana jest ścieżka i koszt dla znalezionej globalnej minimum.

2.3 Symulowane wyżarzanie

2.3.1 Parametry startowe algorytmu

- `startingVertex` - wierzchołek początkowy ścieżki
- `alfa` - współczynnik schładzania temperatury
- `numberOfEras` - liczba epok
- `iterationOfEra` - liczba iteracji w epoce
- `startingTemperature` - startowa temperatura jeśli 0 to liczona jest na podstawie pierwszego rozwiązania

2.3.2 Opis działania

Działanie algorytmu rozpoczyna się od podania parametrów startowych. Następnie w taki sam sposób jak w *Tabu Search* generowana jest globalnie ścieżka. Lokalna ścieżka jest przypisywana w taki sam sposób jak globalna ścieżka. W kolejnym kroku obliczamy startową temperaturę poprzez wymnożenie globalnego kosztu ścieżki przez współczynnik schładzania temperatury, tylko w przypadku, w którym temperatura nie została podana wcześniej. Potem uruchamiamy metodę zawierającą główną część algorytmu. Metoda ta zawiera dwie zagnieżdżone pętle. Zewnętrzna pętla posiada warunek stopu, którym jest liczba iteracji nieprzekraczająca `numberOfEras`, a pętla wewnętrzna liczbę iteracji nieprzekraczającą `iterationOfEra`. W każdej iteracji pętli wewnętrznej losowana jest para wierzchołków, która ma zostać zamieniona. Jeśli po zamianie lokalny koszt ścieżki jest mniejszy niż globalny to podmieniamy ścieżki i powracamy do losowania wierzchołków. W innym przypadku losujemy wartość prawdopodobieństwa i sprawdzamy czy prawdopodobieństwo jest mniejsze niż wartość ze wzoru, w przypadku, w którym jest mniejsze podmieniamy rozwiązanie lokalne na gorsze. Następnie obojętnie od rezultatu prawdopodobieństwa powracamy do losowania pary wierzchołków. Po każdym zatrzymaniu się pętli wewnętrznej schładzana jest temperatura poprzez pomnożenie obecnej temperatury przez *alfa*. Po osiągnięciu warunku stopu dla pętli zewnętrznej, algorytm kończy swoje działanie i wyświetla wynik.

3 Testy zaimplementowanych algorytmów

3.1 Poprawność badanych algorytmów

```
Otworzono plik m6.atsp
Wczytano dane
Podaj liczbe iteracji
1000
Podaj czas trwania
30
Podaj startowy wierzcholek
0
Podaj kadencje
6
Podaj dzielnik kadencji
1
0 160 100%
1 118 47.5%
2 80 0%
0->5->1->2->3->4->0
80
```

```
Otworzono plik m6.atsp
Wczytano dane
Podaj startowy wierzcholek
0
Podaj alfe
0.99
Podaj liczbe epok
100
Podaj liczbe iteracji w epoce
100
Podaj startowa temperature
0
0 159 98.75%
9 118 47.5%
21 116 45%
99 100 25%
149 92 15%
154 85 6.25%
164 80 0%
0->5->1->2->3->4->0
80
```

(a) Poszukiwanie z zakazami

(b) Symulowane wyżarzanie

Rysunek 1: Badanie poprawności algorytmów dla pliku m6.atsp

```

Otworzono plik m10.atsp
Wczytano dane
Podaj liczbe iteracji
1000
Podaj czas trwania
30
Podaj startowy wierzcholek
0
Podaj kadencje
10
Podaj dzielnik kadencji
1
0    441    108.019%
1    337    58.9623%
2    312    47.1698%
3    282    33.0189%
4    276    30.1887%
8    241    13.6792%
9    239    12.7358%
10   219    3.30189%
11   212    0%
0->3->4->2->8->7->6->9->1->5->0
212

```

(a) Poszukiwanie z zakazami

```

Otworzono plik m10.atsp
Wczytano dane
Podaj startowy wierzcholek
0
Podaj alfe
0.99
Podaj liczbe epok
100
Podaj liczbe iteracji w epoce
1000
Podaj startowa temperature
0
0    576    171.698%
1    549    158.962%
2    511    141.038%
3    475    124.057%
8    426    100.943%
24   388    83.0189%
185  347    63.6792%
253  345    62.7359%
409  317    49.5283%
626  274    29.2453%
790  271    27.8302%
1311 265    25%
7238 244    15.0943%
38952 239    12.7358%
47992 234    10.3774%
53531 219    3.30189%
88997 212    0%
0->3->4->2->8->7->6->9->1->5->0
212

```

(b) Symulowane wyzazanie

Rysunek 2: Badanie poprawności algorytmów dla pliku m10.atsp

3.2 Szukanie najlepszych rozwiązań

Za pomocą kilku zagnieżdżonych pętli starano się znaleźć jak najlepsze rozwiązanie dla wybranych instancji, a uzyskane wyniki umieszczono w Tabeli 1 oraz 2.

| Nazwa instancji | Iteracje | Kadencja | Dzielnik kadencji | Wynik | Błąd względny [%] | Czas życia [s] | Wierzchołek początkowy |
|-----------------|----------|----------|-------------------|-------|-------------------|----------------|------------------------|
| gr21.tsp | 200 | 27 | 1 | 2707 | 0 | 15 | 0 |
| gr24.tsp | 3000 | 16 | 4 | 1272 | 0 | 15 | 0 |
| ftv33.atsp | 1000 | 18 | 3 | 1286 | 0 | 15 | 0 |
| gr48.tsp | 6000 | 33 | 2 | 5094 | 0,951249 | 15 | 0 |
| ftv55.atsp | 8000 | 53 | 2 | 1658 | 3,10945 | 15 | 0 |
| ftv70.atsp | 13000 | 62 | 1 | 1994 | 2,25641 | 15 | 5 |
| gr96.tsp | 15000 | 101 | 1 | 58912 | 6,70724 | 30 | 18 |
| lin105.tsp | 17000 | 103 | 13 | 16020 | 11,4125 | 30 | 3 |
| gr120.tsp | 20000 | 96 | 1 | 7395 | 6,5255 | 30 | 0 |
| gr202.tsp | 20000 | 181 | 2 | 44344 | 10,4183 | 60 | 0 |

Tabela 1: Tabela najlepszych ustawień parametrów dla *TS*

| Nazwa instancji | Wierzchołek początkowy | Alfa | Liczba epok | L. iteracji w epoce | Temperatura | Wynik | Błąd względny [%] |
|-----------------|------------------------|-------|-------------|---------------------|-------------|-------|-------------------|
| gr21.tsp | 1 | 0,82 | 100 | 1000 | 0 | 2707 | 0 |
| gr24.tsp | 8 | 0,87 | 100 | 1000 | 0 | 1272 | 0 |
| ftv33.atsp | 8 | 0,93 | 1000 | 6000 | 6000 | 1329 | 3,3437 |
| gr48.tsp | 3 | 0,98 | 1000 | 9000 | 0 | 5078 | 0,634166 |
| ftv55.atsp | 1 | 0,99 | 5000 | 6000 | 0 | 1693 | 5,28607 |
| ftv70.atsp | 24 | 0,99 | 1000 | 8000 | 0 | 2104 | 7,89744 |
| gr96.tsp | 25 | 0,96 | 1000 | 8000 | 0 | 58421 | 5,81789 |
| lin105.tsp | 3 | 0,99 | 5000 | 12000 | 0 | 15561 | 8,22032 |
| gr120.tsp | 2 | 0,997 | 4000 | 10000 | 0 | 7275 | 4,79689 |
| gr202.tsp | 0 | 0,998 | 5000 | 20000 | 0 | 42237 | 5,17181 |

Tabela 2: Tabela najlepszych ustawień parametrów dla *SA*

3.3 Wpływ poszczególnych parametrów na prace poszukiwania z zakazami

W ramach tej części testów wybrano 5 instancji, na podstawie, których przeprowadzono testy mające na celu pokazanie wpływu na czas i wartość błędu bezwzględnego poszczególnych parametrów.

| Kadencja | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 10 | 0,14 | 0,10 | 0,12 | 0,28 | 0,41 |
| 20 | 0,29 | 0,60 | 0,41 | 0,69 | 0,68 |
| 30 | 0,27 | 0,69 | 0,99 | 0,60 | 1,90 |
| 40 | 0,60 | 0,62 | 0,66 | 0,63 | 2,14 |
| 50 | 0,74 | 0,81 | 0,85 | 1,58 | 4,07 |

Tabela 3: Tabela wpływu kadencji na czas wykonywania się algorytmu w sekundach

| Kadencja | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 10 | 21,94 | 71,28 | 52,49 | 78,68 | 326,94 |
| 20 | 24,39 | 40,24 | 40,76 | 77,14 | 143,48 |
| 30 | 28,94 | 30,85 | 34,99 | 81,10 | 82,49 |
| 40 | 27,75 | 32,23 | 33,28 | 60,60 | 55,38 |
| 50 | 25,55 | 31,03 | 35,05 | 55,09 | 48,45 |

Tabela 4: Tabela wpływu kadencji na błąd względny dla poszczególnych instancji

| Iteracje | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 5000 | 0,20 | 0,31 | 0,33 | 0,38 | 1,41 |
| 10000 | 0,34 | 0,70 | 0,98 | 0,67 | 1,78 |
| 15000 | 0,72 | 0,82 | 1,13 | 0,97 | 2,09 |
| 20000 | 0,83 | 0,98 | 1,34 | 1,22 | 2,32 |
| 25000 | 1,15 | 1,07 | 1,71 | 1,55 | 2,64 |

Tabela 5: Tabela wpływu iteracji na czas wykonywania się algorytmu w sekundach

| Iteracje | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atasp | ftv55.atasp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 5000 | 4,06 | 58,69 | 37,23 | 46,45 | 323,32 |
| 10000 | 24,88 | 34,54 | 34,29 | 74,96 | 118,46 |
| 15000 | 24,98 | 29,71 | 33,70 | 80,66 | 77,49 |
| 20000 | 25,00 | 28,74 | 33,58 | 81,80 | 69,29 |
| 25000 | 25,00 | 28,55 | 33,56 | 82,03 | 67,65 |

Tabela 6: Tabela wpływu kadencji na czas wykonywania się algorytmu w sekundach

| Dzielnik | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atasp | ftv55.atasp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 1 | 0,44 | 0,68 | 1,07 | 0,67 | 1,86 |
| 3 | 0,44 | 0,49 | 0,73 | 1,45 | 0,83 |
| 5 | 0,31 | 0,53 | 0,82 | 0,71 | 1,40 |
| 7 | 0,35 | 0,61 | 0,73 | 1,23 | 1,78 |
| 9 | 0,57 | 0,76 | 0,53 | 1,27 | 2,38 |

Tabela 7: Tabela wpływu dzielnika na czas wykonywania się algorytmu w sekundach

| Dzielnik | Nazwa instancji | | | | |
|----------|-----------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atasp | ftv55.atasp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 1 | 4,06 | 55,41 | 27,24 | 46,45 | 282,22 |
| 3 | 20,81 | 37,15 | 32,66 | 66,02 | 108,38 |
| 5 | 24,16 | 28,67 | 33,75 | 69,15 | 84,46 |
| 7 | 24,83 | 27,91 | 33,96 | 59,71 | 73,68 |
| 9 | 24,97 | 27,53 | 34,01 | 56,18 | 68,98 |

Tabela 8: Tabela wpływu dzielnika na błąd względny dla poszczególnych instancji

3.4 Wpływ poszczególnych parametrów na prace symulowanego wyżarzania

| Alfa | Nazwa instancji | | | | |
|------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 0,90 | 30,73 | 39,99 | 25,60 | 31,44 | 26,32 |
| 0,91 | 33,46 | 41,32 | 26,29 | 29,99 | 26,98 |
| 0,92 | 35,55 | 40,82 | 26,63 | 30,03 | 27,71 |
| 0,93 | 31,72 | 29,06 | 25,99 | 26,46 | 25,48 |
| 0,94 | 31,98 | 28,19 | 25,95 | 26,57 | 26,87 |
| 0,95 | 31,02 | 26,89 | 25,87 | 26,02 | 26,96 |
| 0,96 | 32,04 | 27,55 | 28,12 | 25,47 | 25,93 |
| 0,97 | 32,49 | 26,25 | 25,68 | 25,68 | 25,93 |
| 0,98 | 30,37 | 26,12 | 24,91 | 24,78 | 25,74 |
| 0,99 | 38,70 | 24,56 | 24,44 | 25,43 | 29,14 |

Tabela 9: Tabela wpływu współczynnika alfa na czas wykonywania się algorytmu w milisekundach

| Alfa | Nazwa instancji | | | | |
|------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 0,90 | 6,83 | 102,37 | 83,07 | 30,72 | 1091,82 |
| 0,91 | 25,73 | 61,31 | 66,34 | 63,74 | 274,28 |
| 0,92 | 29,50 | 48,98 | 59,95 | 76,38 | 106,32 |
| 0,93 | 29,96 | 54,52 | 67,25 | 87,50 | 104,89 |
| 0,94 | 32,01 | 54,78 | 60,69 | 168,78 | 236,27 |
| 0,95 | 26,40 | 63,85 | 152,23 | 345,39 | 390,78 |
| 0,96 | 51,88 | 113,56 | 252,62 | 481,87 | 551,97 |
| 0,97 | 79,36 | 174,44 | 307,46 | 535,85 | 610,26 |
| 0,98 | 104,21 | 178,29 | 324,53 | 541,48 | 637,82 |
| 0,99 | 107,15 | 190,73 | 329,12 | 566,90 | 643,23 |

Tabela 10: Tabela wpływu współczynnika alfa na błąd względny dla poszczególnych instancji

| Liczba epok | Nazwa instancji | | | | |
|----------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 100 | 29,75 | 36,74 | 25,27 | 28,12 | 25,71 |
| 200 | 71,86 | 42,94 | 38,29 | 44,22 | 41,12 |
| 300 | 65,58 | 79,81 | 52,40 | 55,75 | 54,69 |
| 400 | 83,40 | 71,93 | 68,84 | 78,19 | 68,01 |
| 500 | 118,03 | 86,21 | 81,56 | 83,85 | 82,50 |

Tabela 11: Tabela wpływu liczby epok na czas wykonywania się algorytmu w milisekundach

| Liczba epok | Nazwa instancji | | | | |
|----------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 100 | 6,83 | 71,37 | 59,60 | 29,22 | 285,91 |
| 200 | 28,20 | 49,44 | 68,49 | 54,07 | 108,15 |
| 300 | 32,47 | 45,05 | 70,26 | 59,03 | 72,60 |
| 400 | 33,33 | 44,17 | 70,62 | 60,03 | 65,49 |
| 500 | 33,50 | 44,00 | 70,69 | 60,23 | 64,07 |

Tabela 12: Tabela wpływu liczby epok na błąd względny dla poszczególnych instancji

| L. iteracji w epoce | Nazwa instancji | | | | |
|------------------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 1000 | 9,50 | 11,07 | 9,98 | 9,00 | 9,26 |
| 2000 | 17,85 | 19,62 | 19,44 | 18,02 | 17,65 |
| 3000 | 40,89 | 28,14 | 35,09 | 26,72 | 24,82 |
| 4000 | 50,85 | 44,85 | 34,59 | 36,29 | 34,40 |
| 5000 | 72,78 | 49,80 | 58,84 | 44,44 | 42,77 |

Tabela 13: Tabela wpływu liczby iteracji w epoce na czas wykonywania się algorytmu w milisekundach

| L. iteracji w epoce | Nazwa instancji | | | | |
|------------------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 1000 | 4,36 | 71,35 | 54,82 | 73,33 | 302,25 |
| 2000 | 20,95 | 50,52 | 56,21 | 66,75 | 126,62 |
| 3000 | 31,02 | 45,27 | 67,81 | 61,57 | 76,38 |
| 4000 | 35,22 | 41,26 | 63,23 | 59,70 | 80,42 |
| 5000 | 35,13 | 51,04 | 49,31 | 55,15 | 68,01 |

Tabela 14: Tabela wpływu liczby iteracji w epoce na błąd względny dla poszczególnych instancji

| Temperatura | Nazwa instancji | | | | |
|-------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 0 | 29,03 | 29,05 | 35,80 | 27,33 | 26,65 |
| 1000 | 31,43 | 26,28 | 28,47 | 21,09 | 23,13 |
| 2000 | 29,97 | 30,90 | 25,71 | 21,80 | 24,11 |
| 3000 | 29,98 | 28,54 | 25,49 | 21,16 | 23,83 |
| 4000 | 31,97 | 32,83 | 40,61 | 21,88 | 23,63 |

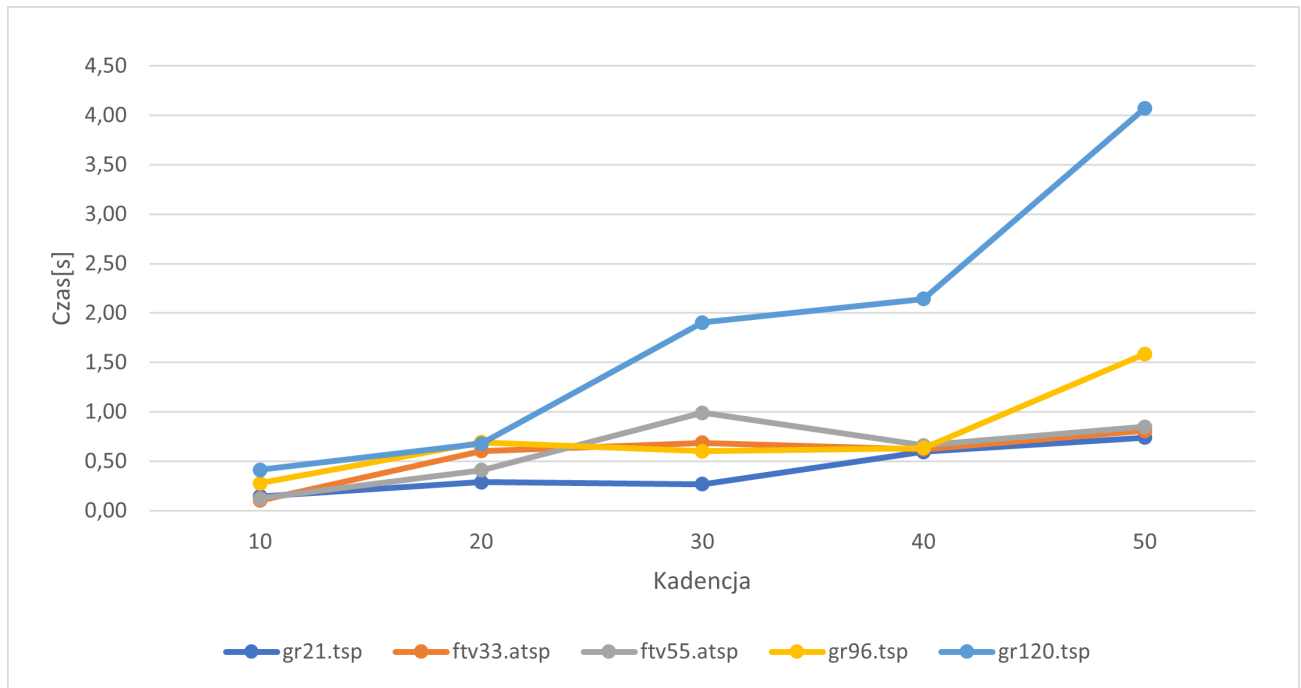
Tabela 15: Tabela wpływu temperatury na czas wykonywania się algorytmu w milisekundach. Dla temperatury o wartości 0 jest ona obliczana na podstawie pierwszego rozwiązania

| Temperatura | Nazwa instancji | | | | |
|-------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------|
| | gr21.tsp | ftv33.atsp | ftv55.atsp | gr96.tsp | gr120.tsp |
| 0 | 6,83 | 70,12 | 60,68 | 29,15 | 283,67 |
| 1000 | 25,73 | 44,29 | 71,07 | 69,53 | 117,37 |
| 2000 | 28,14 | 41,22 | 57,66 | 69,28 | 80,65 |
| 3000 | 30,95 | 44,50 | 55,35 | 69,73 | 74,33 |
| 4000 | 30,55 | 50,75 | 58,74 | 58,82 | 75,78 |

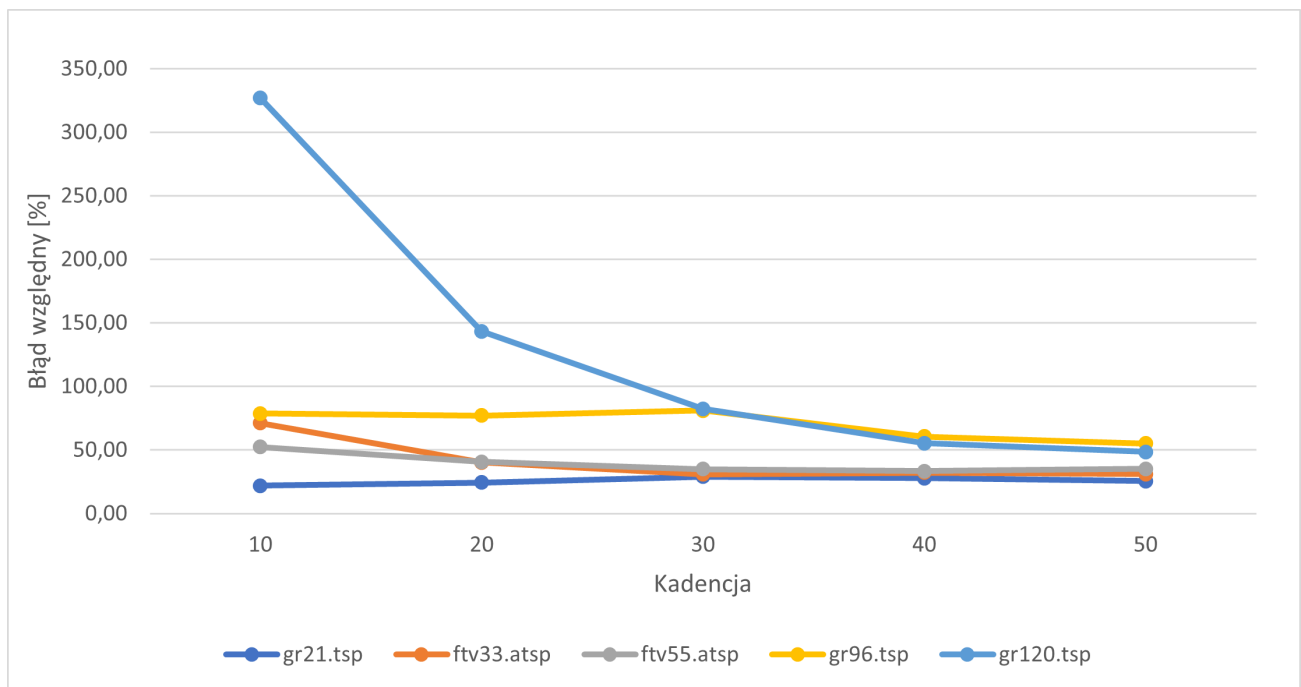
Tabela 16: Tabela wpływu temperatury na błąd względny dla poszczególnych instancji. Dla temperatury o wartości 0 jest ona obliczana na podstawie pierwszego rozwiązania

4 Wykresy

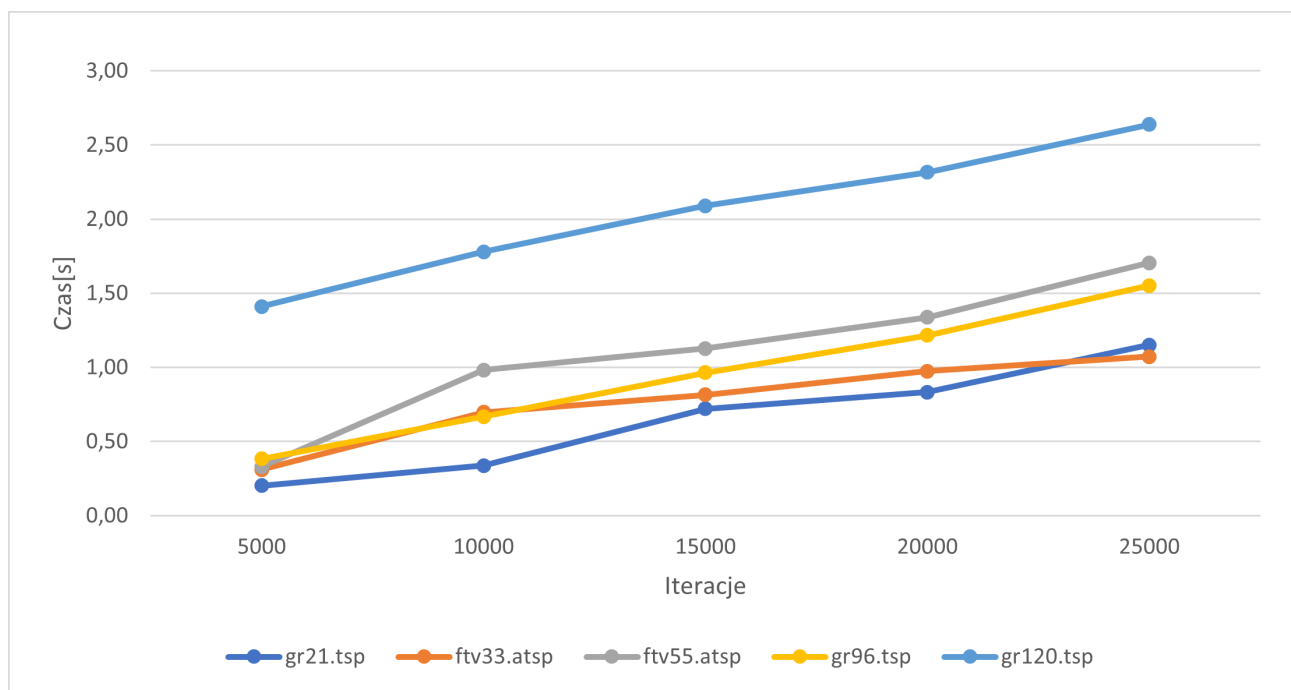
4.1 Poszukiwanie z zakazami



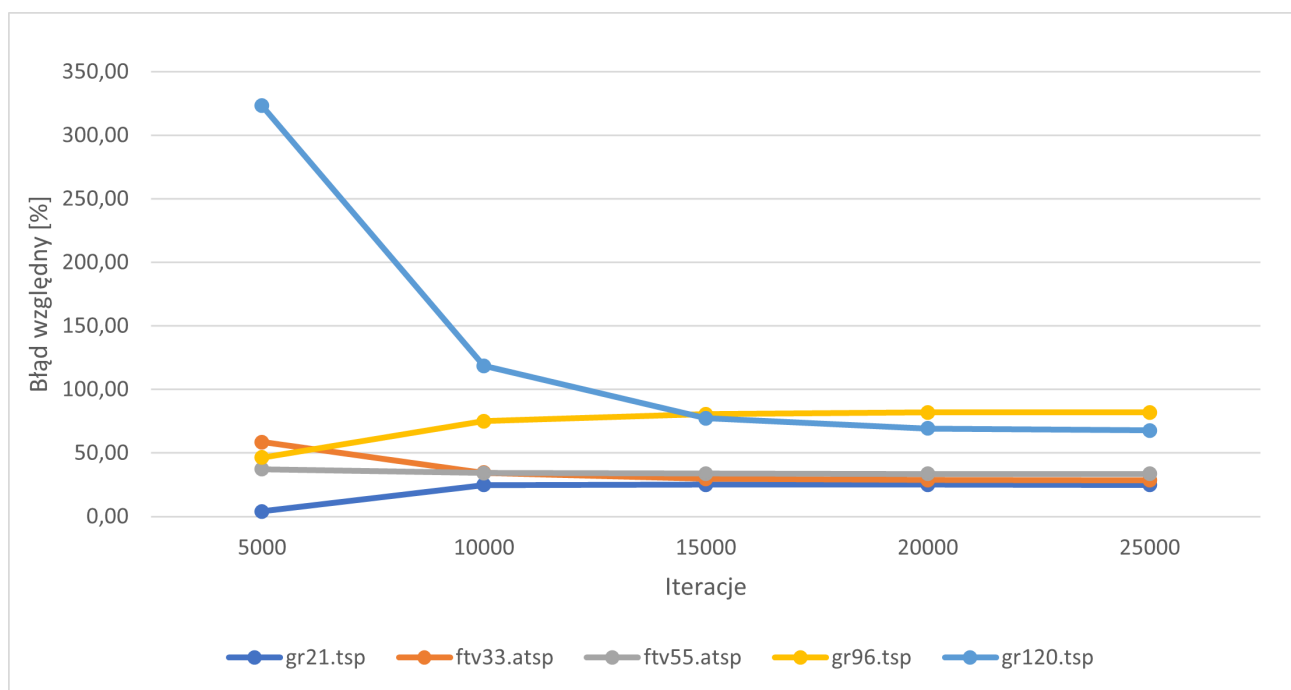
Rysunek 3: Wykres wpływu kadencji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



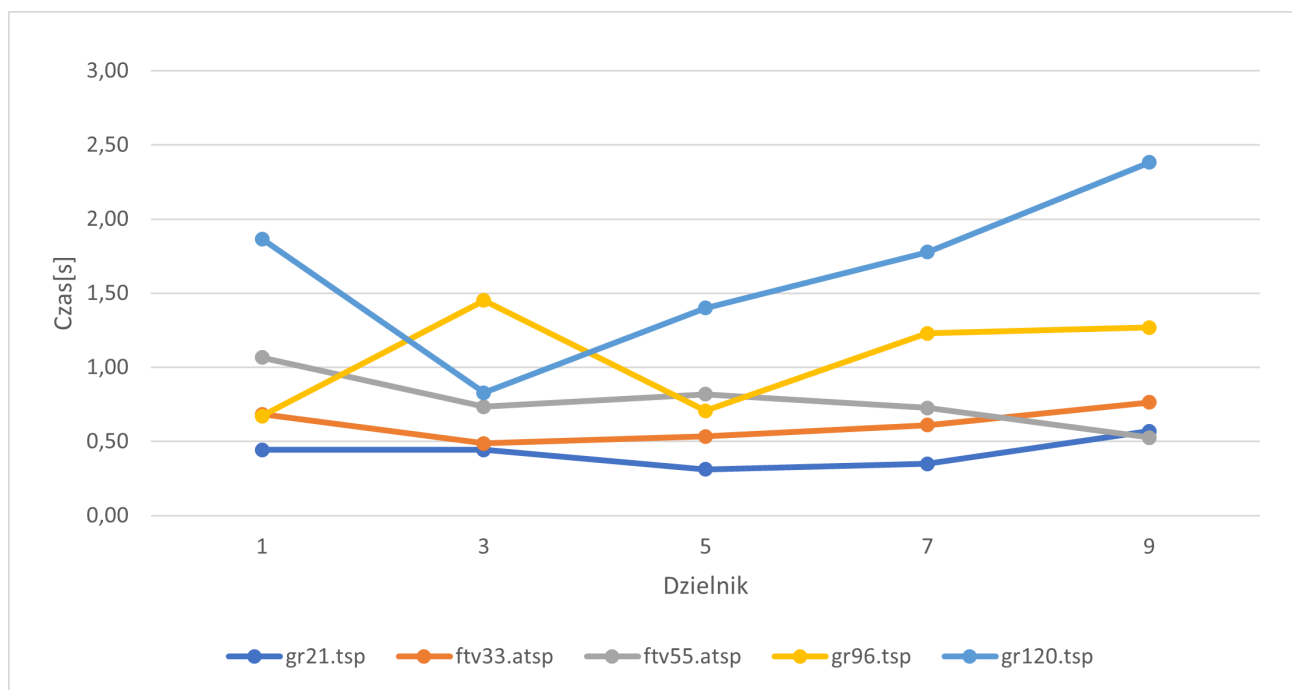
Rysunek 4: Wykres wpływu kadencji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji



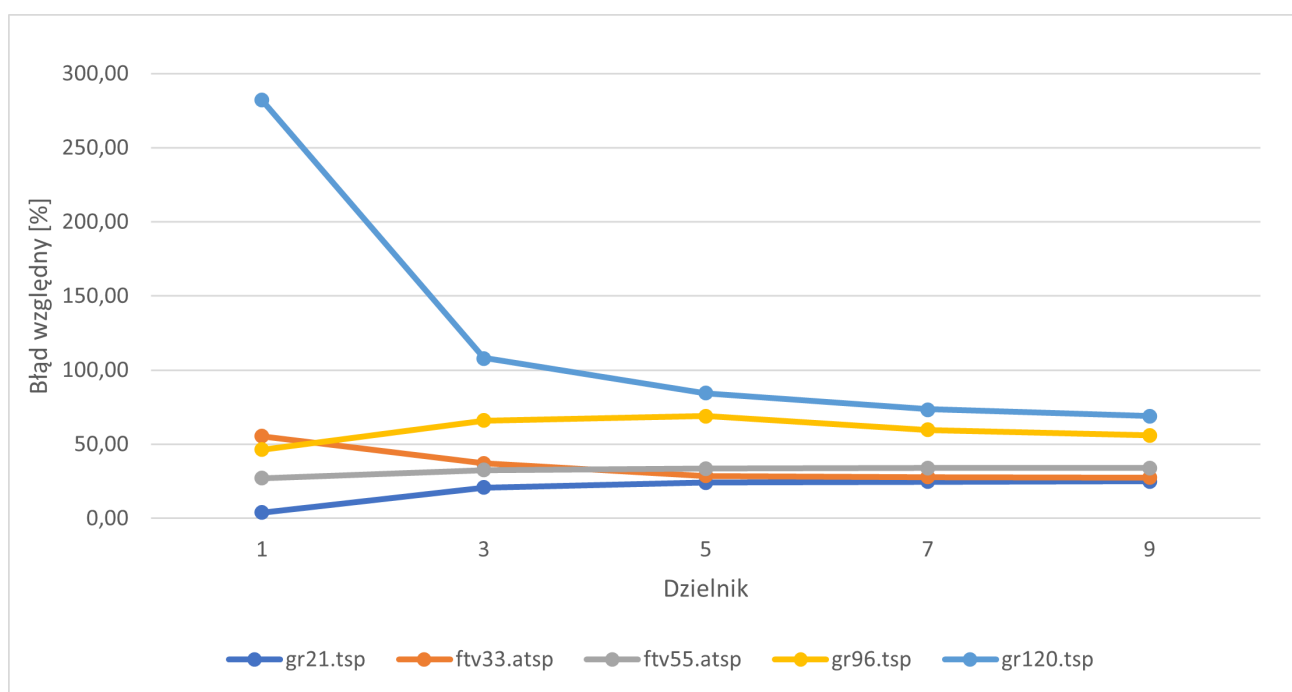
Rysunek 5: Wykres wpływu liczby iteracji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



Rysunek 6: Wykres wpływu liczby iteracji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji

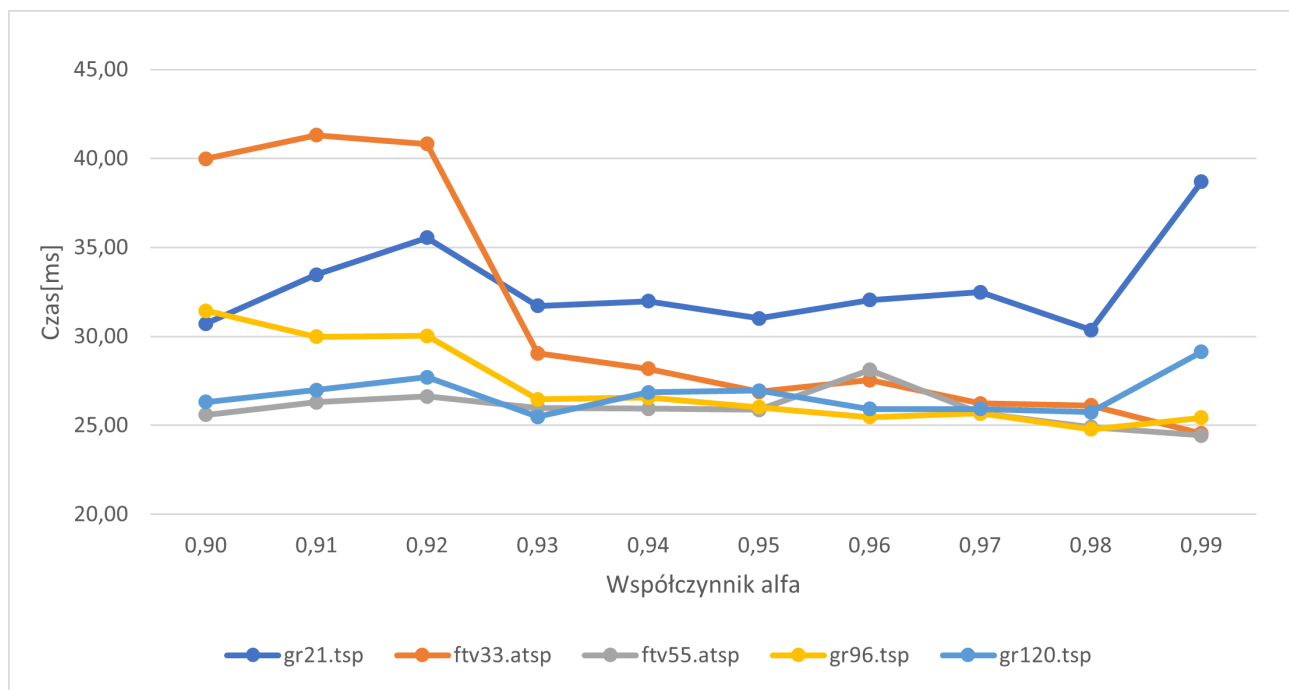


Rysunek 7: Wykres wpływu dzielnika kadencji na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji

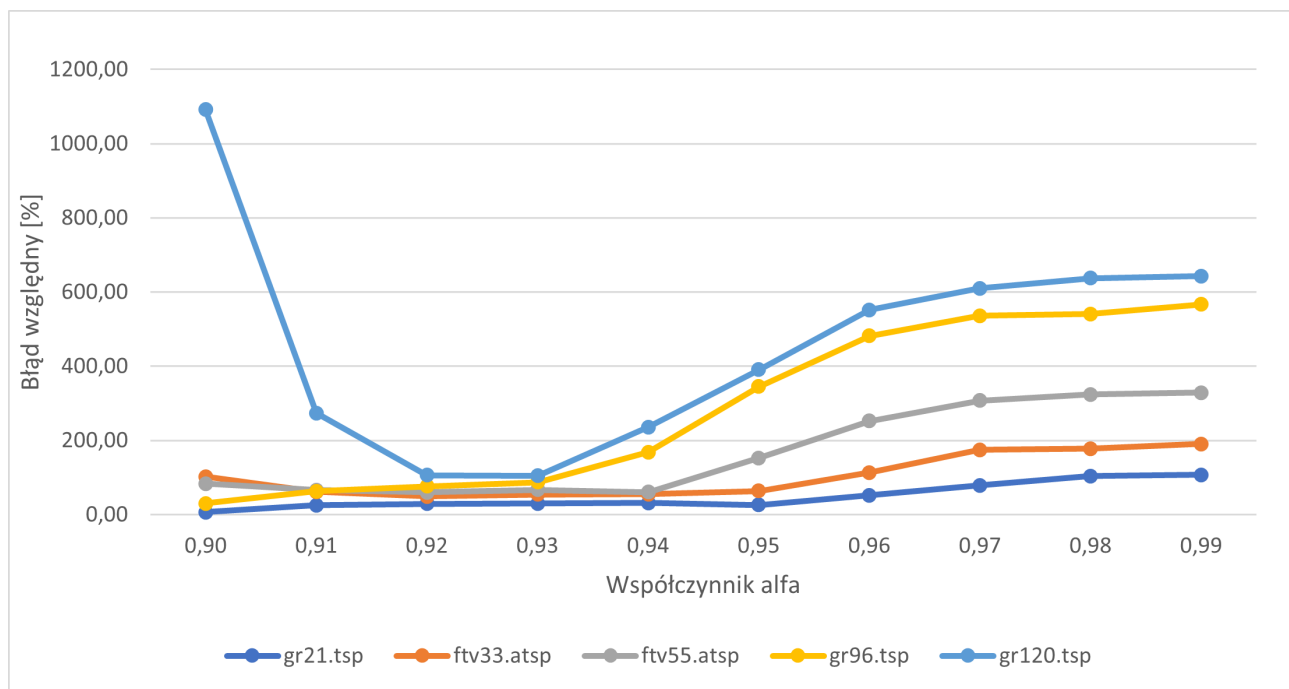


Rysunek 8: Wykres wpływu dzielnika kadencji na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji

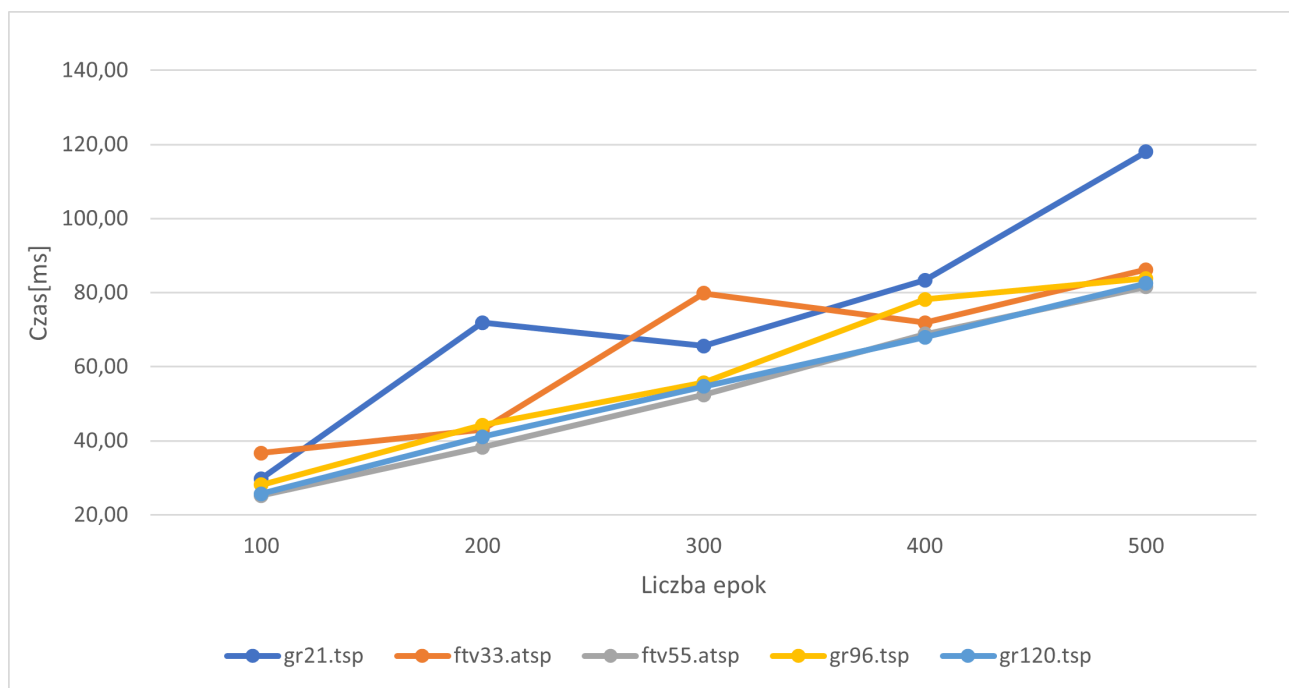
4.2 Symulowane wyżarzanie



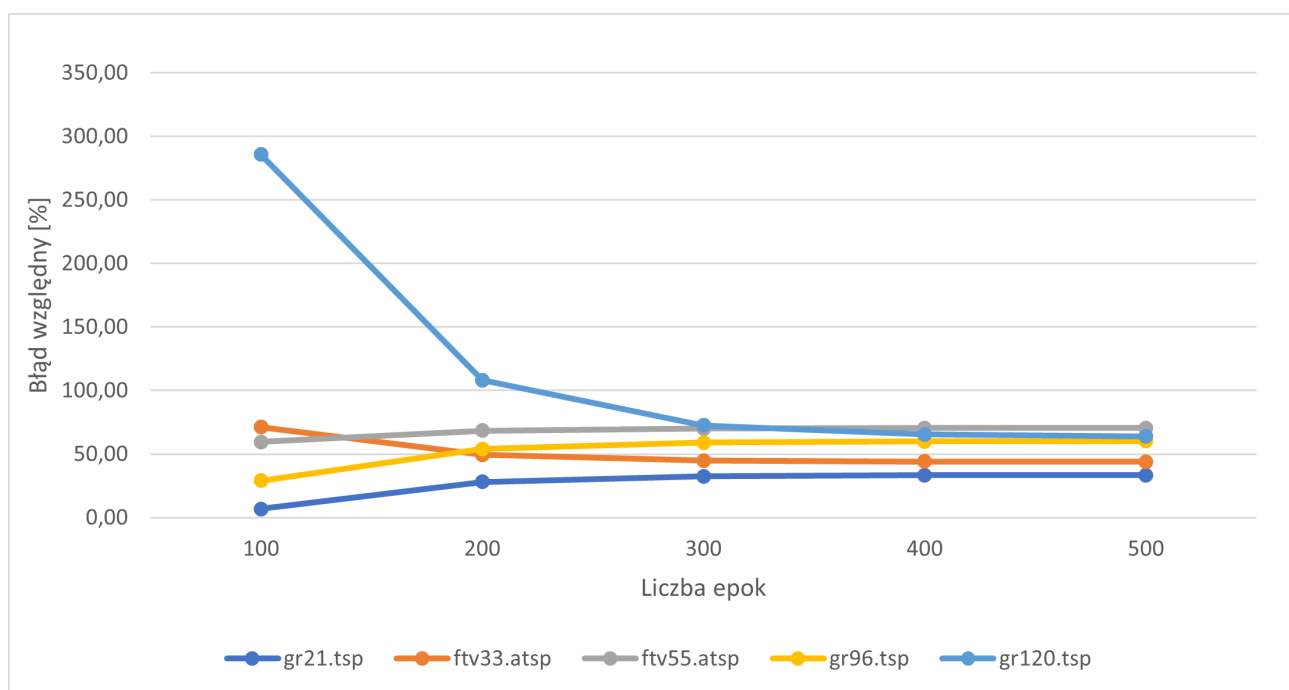
Rysunek 9: Wykres wpływu współczynnika alfa na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



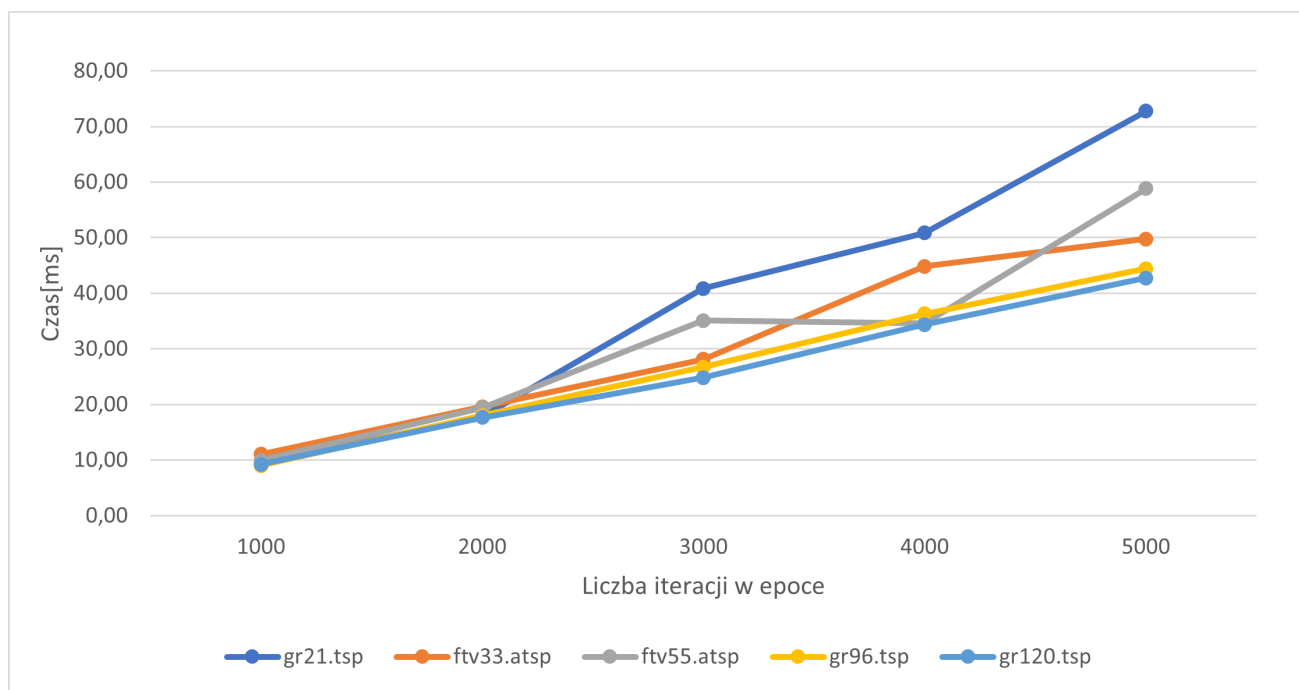
Rysunek 10: Wykres wpływu współczynnika alfa na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji



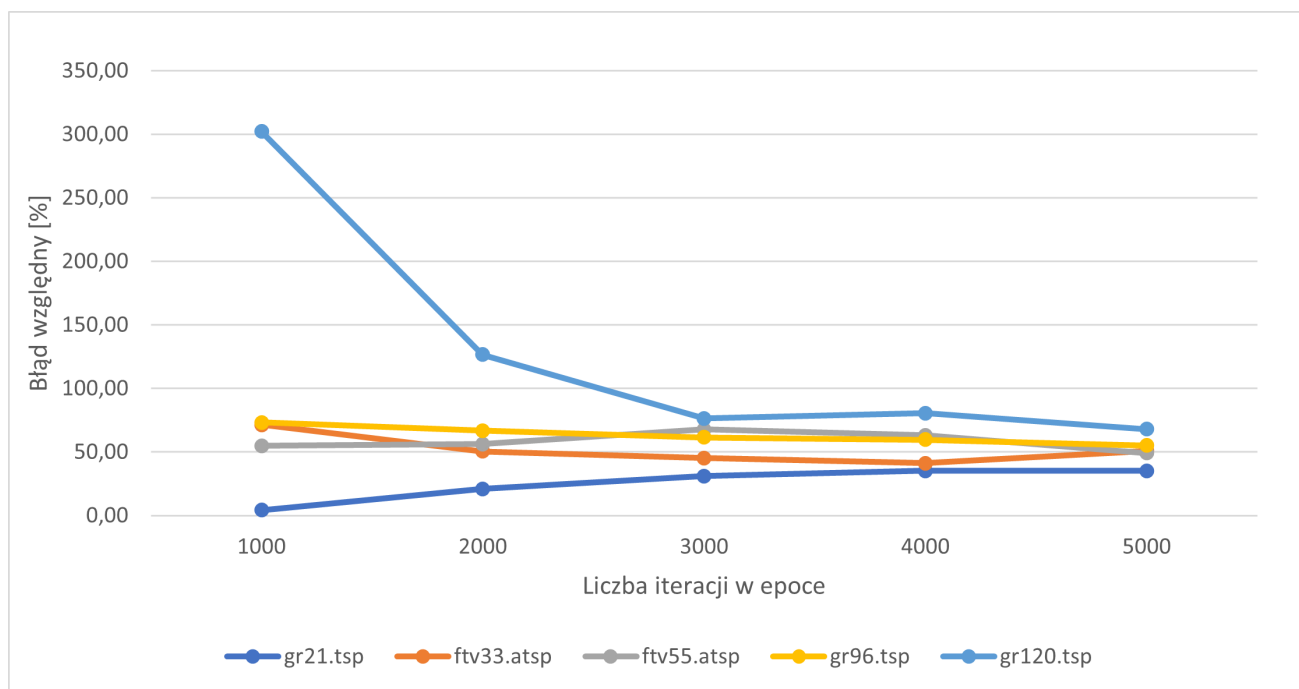
Rysunek 11: Wykres wpływu liczby epok na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



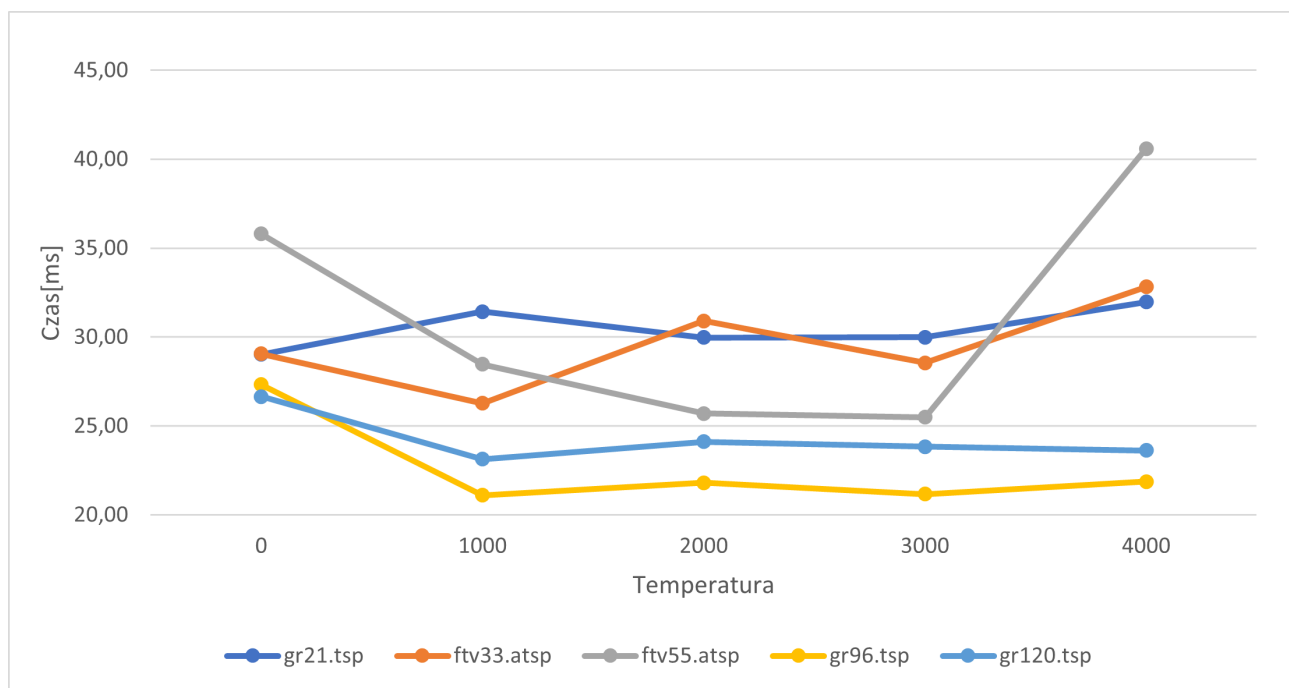
Rysunek 12: Wykres wpływu liczby epok na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji



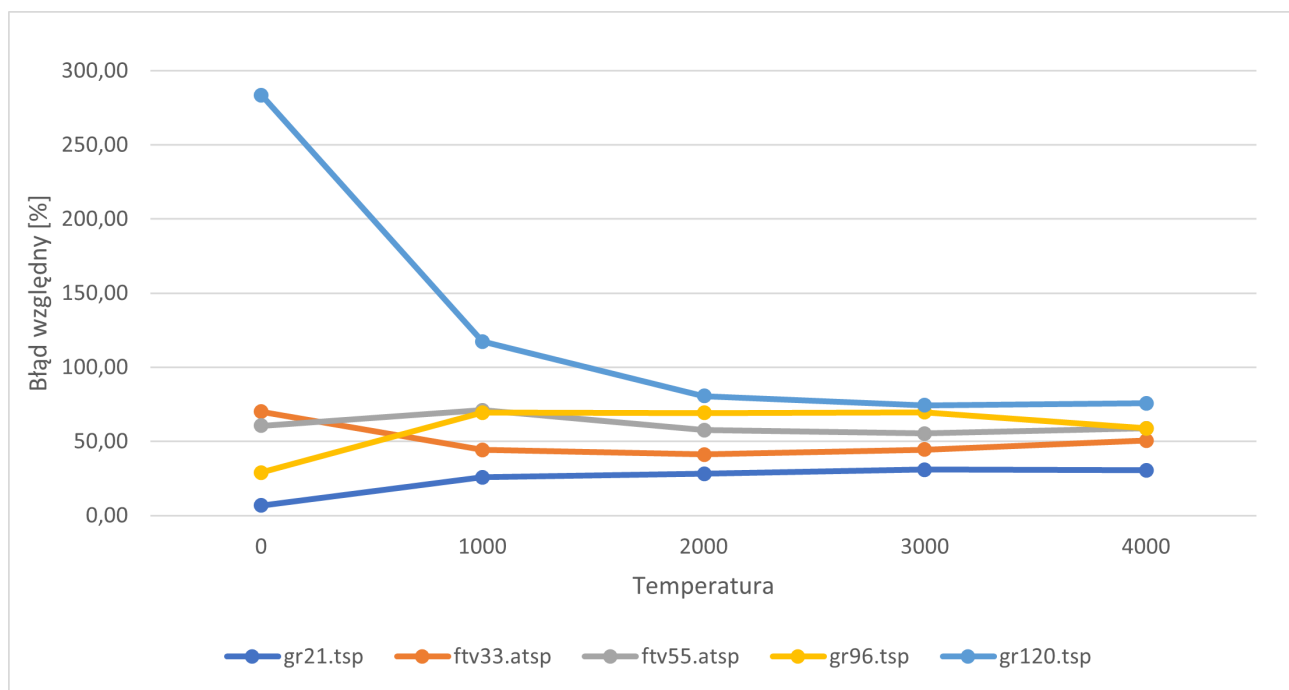
Rysunek 13: Wykres wpływu liczby iteracji w epoce na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



Rysunek 14: Wykres wpływu liczby iteracji w epoce na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji



Rysunek 15: Wykres wpływu temperatury na czas wykonywania się algorytmu dla poszczególnych instancji



Rysunek 16: Wykres wpływu temperatury na błąd względny wyniku algorytmu dla poszczególnych instancji

5 Wnioski

Poszukiwanie z zakazami, na podstawie wykresów i uzyskanych wyników wydaje się nawet wydajnym algorytmem. Opierając jego działanie na pięciu startowych parametrach dla instancji do wielkości rzędu 70 możemy bez problemu znaleźć wynik optymalny, lub do niego bardzo zbliżony. Dla większych instancji błąd względny znajdował się w okolicy 10%. Badając wpływ poszczególnych parametrów można zauważyć, że wpływają one na różnie na pracę algorytmu. Wraz z wzrostem kadencji dla większych instancji, w sposób zbliżony do liniowego rośnie nam czas działania *Tabu Searcha*, ale zarazem maleje nam w podobny sposób odchylenie od rozwiązania optymalnego. Dla mniejszych instancji wpływ kadencji na czas i błąd jest porównywalny, ale nie wpływa już tak znacząco. Podobna sytuacja jest z liczbą iteracji bez poprawy wyniku. Wraz z wzrostem rośnie nam liniowo czas wykonywania się algorytmu, ale tylko dla większych instancji mamy znaczący zysk w poprawności rozwiązania. Dzielnik kadencji raczej nie wpływa na pracę algorytmu, ale może trafić się przypadek w, którym znacząco poprawi rozwiązanie.

Kolejnym badanym algorytmem metaheurystycznym w tej pracy był algorytm symulowanego wyżarzania. Podobnie jak w przypadku TS jego działanie opiera się na 5 startowych parametrach. Na podstawie większości instancji z tabeli 2 da się wyciągnąć wniosek, że algorytm SA trudniej jest znaleźć rozwiązanie optymalne niż swojemu poprzednikowi, ale za to jego odchylenie standardowe dla badanych instancji zawsze mieściło się poniżej 10%. Również jak dla poszukiwania z zakazami zbadano wpływ startowych parametrów i da się wyciągnąć kilka wniosków. Dla mniejszych wartości współczynnika alfa czas wykonywania algorytmu jest większy, wynika to najprawdopodobniej z wolniejszego schładzania temperatury. Dla wartości 0.93 na wykresie gdzie na osi pionowej znajduje się błąd względny znajduje się minimum lokalne. Sprawdzając tą samą wartość na wykresie czasu da się wywnioskować, że względem pozostałych współczynników jej stosunek czasu do odchylenia jest najkorzystniejszy. Dla wartości powyżej 0.93 błąd względny wyniku rośnie logarytmicznie. W przypadku wykresów opisujących wpływ liczby epok można dojść do wniosku, że dla poszczególnych instancji nie wpływają znacząco na wynik, a jedynie wraz z zwiększającą się liczbą epok rośnie liniowo czas działania algorytmu. Podobnie sytuacja wygląda dla liczby iteracji w epoce. Trochę inaczej jest w sytuacji gdy zmieniamy temperaturę. Podanie temperatury nie wpływa w zdecydowany sposób na czas pracy algorytmu, a zysk wynikający z poprawy wyniku jest raczej znikomy.

Podsumowując zaprezentowane algorytmy poszukiwania lokalnego, dla problemu komiwojażera można stwierdzić, że są to efektywne sposoby rozwiązywania tego problemu. Przy przemyślanej implementacji i odpowiednim dobraniu parametrów startowych algorytmów dla poszczególnych instancji, można uzyskać optimum, lub wynik odchylony o błąd nie przekraczający 10%. Analizując dobór parametrów, łatwiej jest je dobierać dla algorytmu symulowanego wyżarzania, bo w głównej mierze opieramy się na współczynniku schładzania, który powinien być wybierany z przedziału (0.81, 0.99) i liczbie iteracji, gdy w poszukiwaniu z zakazami, musimy dobrać kadencję, która w wielu przypadkach jest trudna do określenia.