

Projektowanie Efektywnych Algorytmów

Projekt

20/12/2023

263916 Kamil Gondek

(3) Symulowane wyzarczenie

| Spis treści | strona |
|---------------------------|--------|
| Sformułowanie zadania | 2 |
| Metoda | 3 |
| Algorytm | 4 |
| Dane testowe | 9 |
| Procedura badawcza | 12 |
| Wyniki | 17 |
| Analiza wyników i wnioski | 53 |

1. Sformułowanie zadania

Zadanie polega na opracowaniu, implementacji i zbadaniu efektywności algorytmu symulowanego wyżarzania rozwiązującego problem komiwożacza.

Problem komiwożacza polega na znalezieniu najkrótszej trasy, która przebiega przez wszystkie miasta dokładnie raz, a następnie wraca do pierwszego miasta. Jest to problem optymalizacji kombinatorycznej, który ma zastosowanie między innymi w logistyce i planowaniu tras w transporcie publicznym.

Hipoteza:

Algorytm symulowanego wyżarzania uzyskuje znacząco lepsze wyniki odnośnie złożoności czasowej jak i pamięciowej w porównaniu do algorytmu Brute-Force czy Helda-Karpa. Jednakże samo wyznaczenie złożoności czasowej jest trudne, ponieważ złożoność ta zależy od parametrów sterujących. Na jej wpływ mają takie czynniki jak sposób generowania ścieżki początkowej, wartość temperatury początkowej oraz metoda chłodzenia. Natomiast co do złożoności pamięciowej to dla tego algorytmu wynosi ona $O(2n)$, gdyż przechowujemy dwie ścieżki: aktualną oraz tymczasową.

Problem badawczy:

- Jaki wpływ na jakość i czas rozwiązania problemu mają takie parametry jak: sposób wyboru temperatury początkowej, ścieżki początkowej, sposób chłodzenia, długość epoki, sposób wyboru sąsiedztwa?
- Czym są małe instancje dla tego algorytmu, a czym są duże instancje?
- Jaka jest liczba wierzchołków dla których ten algorytm przestaje być efektywny tj. czas wyznaczania rozwiązania przekracza 1 godzinę?
- Czy algorytm jest skuteczniejszy od algorytmu Brute-Force i Helda-Karpa?
- Czy wartość odległości ścieżki między wierzchołkami ma wpływ na złożoność czasową?

2. Metoda

Metoda symulowanego wyżarzania jest jedną z technik projektowania algorytmów heurystycznych. Algorytmy te cechują się występowaniem parametru sterującego. W przypadku metody symulowanego wyżarzania takim parametrem jest temperatura. Parametr ten w trakcie działania programu zmienia się co powoduje zawężanie wyniku algorytmu.

Metoda rozwiązuje problem wyznaczenia najkrótszej drogi poprzez podział utworzenie początkowej ścieżki a następnie szukaniu lepszych ścieżek w sąsiedztwie chwilowo najlepszego rozwiązania.

W celu uniknięcia sytuacji gdzie algorytm utknąłby w lokalnym minimum to jest przypadek w którym każda zmiana w sąsiedztwie nie powoduje poprawienia kosztu ścieżki. Metoda dopuszcza wybór gorszego rozwiązania o określonym procencie w celu chwilowego pogorszenia kosztu aby uzyskać możliwie lepszą ścieżkę. Poziom akceptacji jest realizowany za pomocą następującego wzoru:

Jeżeli (nowy koszt < aktualny koszt) to

przyjmij nowe rozwiązanie

W przeciwnym razie :

Jeżeli $\exp\left(\frac{\text{aktualny koszt} - \text{nowy koszt}}{\text{aktualna temperatura}}\right) > \text{zadane prawdo}$

to przyjmij nowe rozwiązanie.

Dzięki temu że temperatura z czasem spada program wraz z kolejnymi epokami zawęża wartości kosztu jakie akceptuje jako nowa droga. Przez co im wyższy parametr temperatury tym bardziej chaotyczne zmiany a wraz ze spadkiem temperatury program przeszukuje coraz węższy zakres rozwiązań.

3. Algorytm

Zaimplementowany algorytm zaczyna swoje działanie od inicjacji w pierwszym etapie przypisywane są niezbędne wartości takie jak:

Długość epoki w moim przypadku jest ona wyznaczana za pomocą następującego wzoru:

Długość epoki = wielkość instancji * wielkość instancji * współczynnik

Gdzie wielkość instancji to liczba miast natomiast współczynnik jest parametrem sterującym.

W kolejnym etapie generowana jest ścieżka początkowa według 2 algorytmów:

- Pierwszy sposób – zachłanny
- Drugi sposób – losowo

Następnie generowana jest temperatura początkowa na 2 różne sposoby:

- Pierwszy sposób – na podstawie próbkowania w tablicy sąsiedztwa i średniej z próbek
- Drugi sposób – jako maksymalna różnica długości pojedynczego przejścia

Jako ostatni etap inicjalizacji wyznaczany jest koszt początkowy ścieżki.

W kolejnym kroku algorytm dzieli się na 2 sposoby chłodzenia Boltzmanna lub geometrycznie

- W przypadku chłodzenia geometrycznego temperatura w kolejnych epokach zmienia się w następujący sposób:
 - Aktualna temperatura = aktualna temperatura * alfa

Gdzie *alfa* to współczynnik obniżania temperatury

- W przypadku chłodzenia Boltzmanna
 - Aktualna temperatura = aktualna temperatura / $\ln(k+1)$

Gdzie *k* to numer epoki zaczynając od 1

Dodatkowo algorytm dzieli się na 2 sposoby wyboru sąsiedztwa:

Losowe wybranie 2 wierzchołków i zamiana miejscami.

Losowe wybranie 1 wierzchołka i zamiana z wierzchołkiem poprzedzającym.

Skutkiem takiego podejścia jest złożoność pamięciowa na poziomie $O(2n)$ wynikająca z przechowywania jedynie 2 ścieżek aktualnej i nowej oraz ich kosztów.

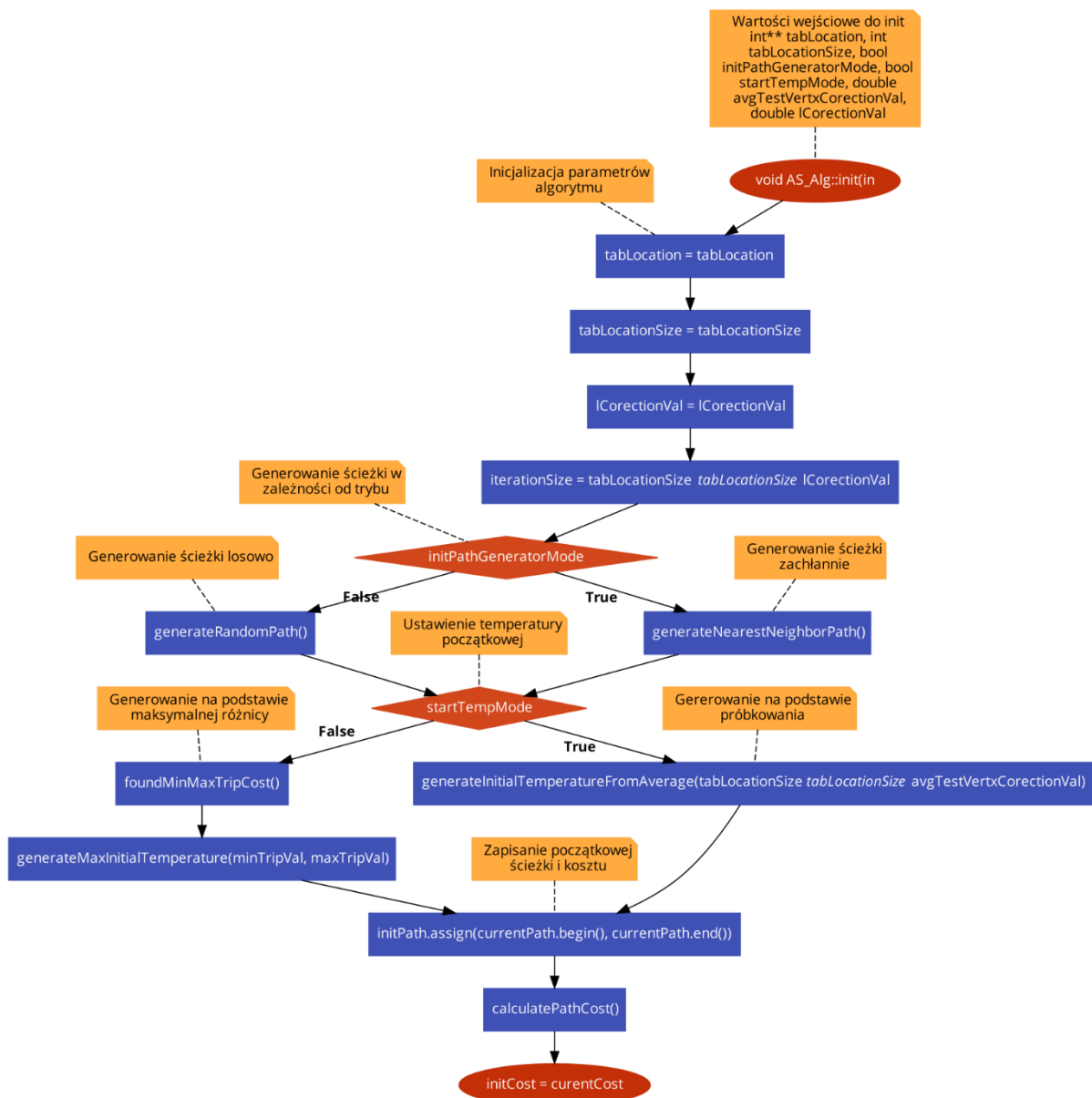
Natomiast złożoność czasowa wyznaczana jest za pomocą następującego wzoru:

$$O(\text{liczba epok} * \text{długość epoki} * n)$$

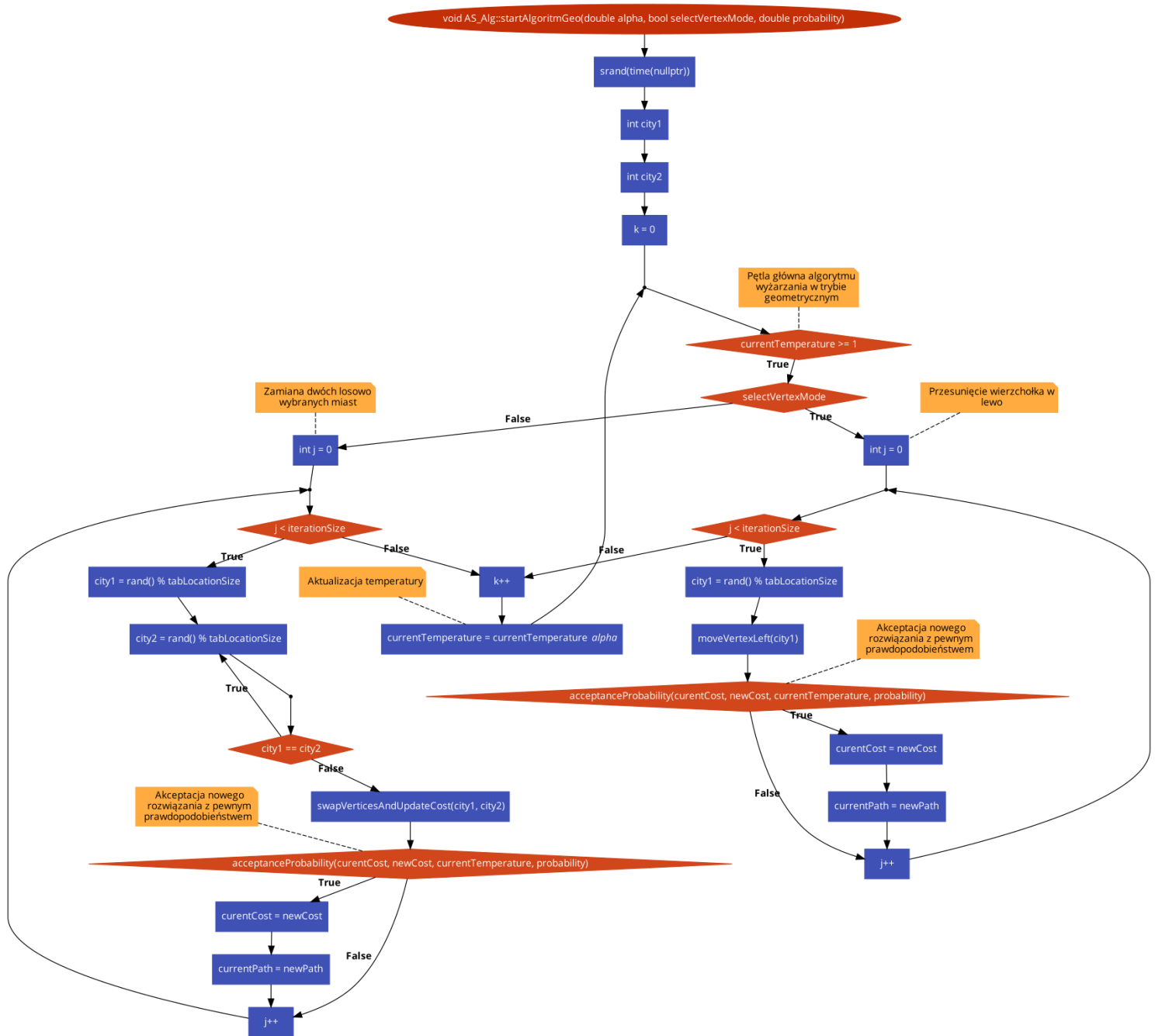
Gdzie długość epoki jest stała jako parametr początkowy, liczba epok jest zależna od sposobu chłodzenia natomiast parametr *n* to liczba miast i wynika z wyznaczenia kosztu przejścia przez wszystkie miasta w każdej iteracji pętli. Natomiast liczba epok jest zależna od sposobu

chłodzenia w przypadku Boltzmanna dla Temperatury początkowej nie przekraczającej 10 liczba epok nie przekroczy 7, dla Temperatury początkowej do 10 000 liczba ta nie przekroczy 15 natomiast dla Temperatury początkowej do 10 000 000 liczba ta nie przekroczy 21. W skutek czego wielkość odległości miast w instancji powinna mieć wpływ na złożoność czasową w przypadku chłodzenia Boltzmanna. Jak i w przypadku geometrycznego gdzie liczba epok jest silnie zależna od współczynnika alfa.

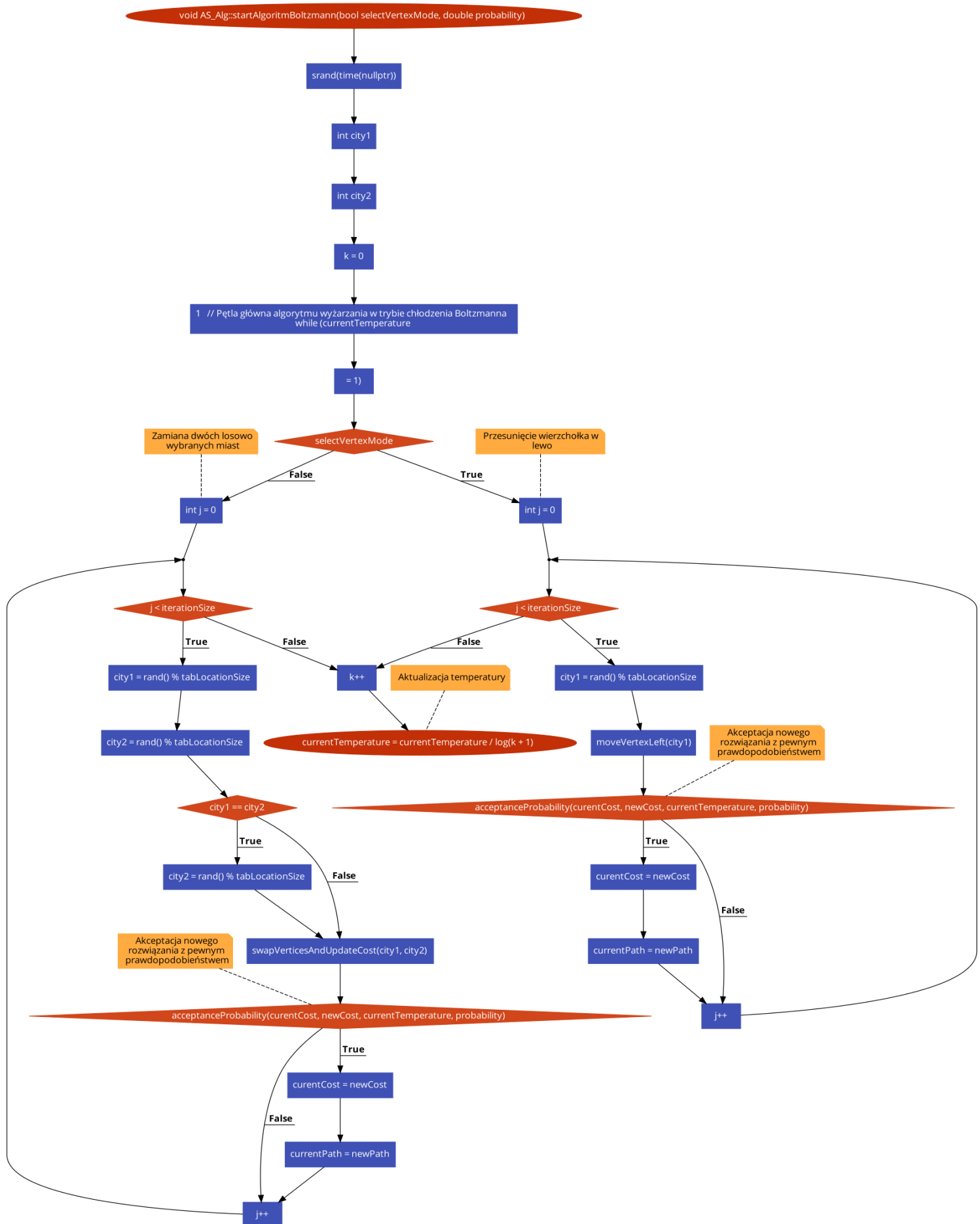
Natomiast parametry takie jak ścieżka początkowa czy sposób wyboru sąsiedztwa nie mają większego wpływu na złożoność zarówno czasową jak i pamięciową jednakże mają mogą mieć wpływ na jakość wyniku. Dzięki czemu możliwe będzie zmniejszenie długości epoki co wpły nie bezpośrednio na złożoność czasową.



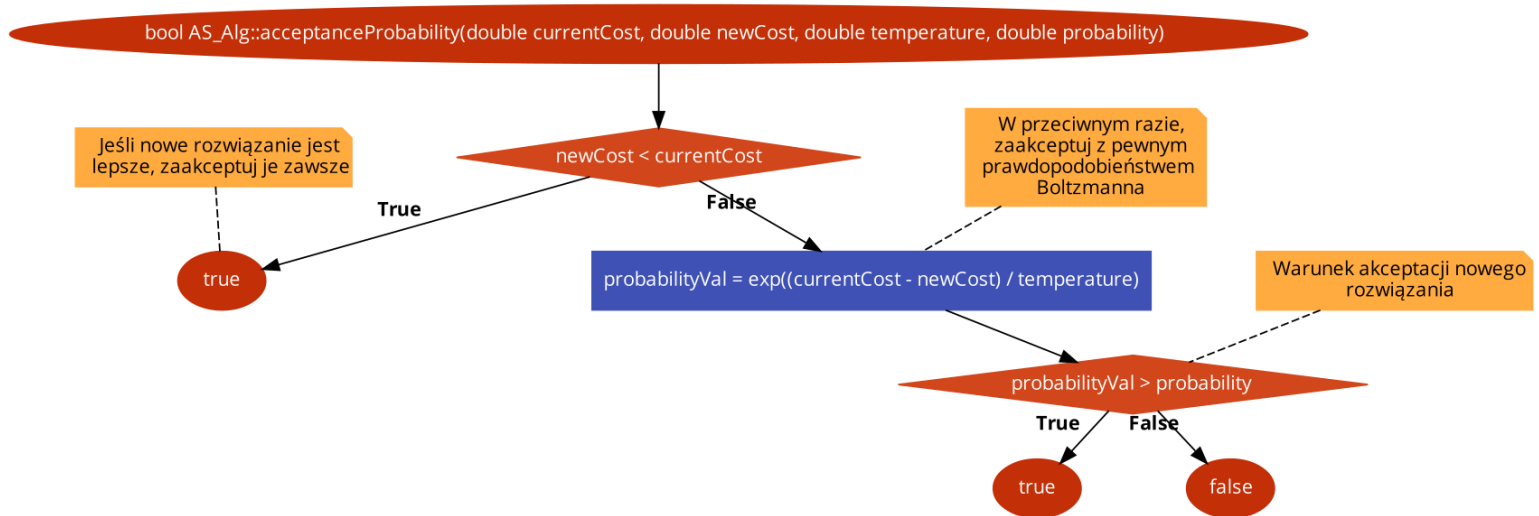
Rysunek 1 - Schemat blokowy funkcji inicjalizującej algorytm wyznaczania



Rysunek 2 - Schemat blokowy funkcji rozpoczynającej algorytm wyżarzania z chłodzeniem geometrycznym



Rysunek 3 - Schemat blokowy funkcji rozpoczynającej algorytm wyżarzania z chłodzeniem Boltzmann



Rysunek 4 - Schemat blokowy funkcji akceptującej nowe rozwiązanie

Legenda:

- **tabLocation:** Dwuwymiarowa tablica przechowująca informacje o lokalizacjach (miastach) – tablica sąsiedztwa.
- **tabLocationSize:** Rozmiar tablicy tabLocation (ilość miast).
- **lCorectionVal:** Współczynnik korekcyjny długości epoki.
- **iterationSize:** Rozmiar długość epoki.
- **initPath:** Początkowa ścieżka.
- **currentPath:** Aktualna ścieżka.
- **curentCost:** Koszt aktualnej ścieżki.
- **currentTemperature:** Aktualna temperatura.
- **k:** Licznik iteracji(epok)
- **alpha:** Współczynnik chłodzenia geometrycznego.
- **selectVertexMode:** Tryb wyboru wierzchołka.
- **probability:** Prawdopodobieństwo akceptacji gorszego rozwiązania.
- **avgTestVertxCorectionVal:** Współczynnik korekcji ilości wierzchołków testowych dla temperatury początkowej

4. Dane testowe

Do sprawdzenia poprawności działania programu wykorzystano dane testowe dr Jarosława Mierzwy oraz dane ze strony <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de>. Na ich podstawie uzyskano następujące wyniki:

Plik wejściowy tsp_6_1.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 132

Kolejność odwiedzanych miast: 1 2 3 4 5 6 1

Algorytm Wyżarzania:

Ścieżka = 2,3,4,5,6,1,2

Koszt = 132

Czas pomiaru = 0.2191ms

Plik wejściowy tsp_6_2.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 80

Kolejność odwiedzanych miast: 1 6 2 3 4 5 1

Algorytm Wyżarzania:

Ścieżka = 2,3,4,5,1,6,2

Koszt = 80

Czas pomiaru = 0.14525ms

Plik wejściowy tsp_10.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 212

Kolejność odwiedzanych miast: 1 4 5 3 9 8 7 10 2 6 1

Algorytm Wyżarzania:

Ścieżka = 10,2,4,1,6,8,7,9,5,3,10

Koszt = 257

Czas pomiaru = 0.49002ms

Plik wejściowy tsp_12.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 264

Kolejność odwiedzanych miast: 1 2 9 5 7 3 12 10 8 6 4 11 1

Algorytm Wyżarzania:

Ścieżka = 8,10,12,3,7,5,9,2,1,11,4,6,8

Koszt = 264

Czas pomiaru = 0.63633ms

Plik wejściowy tsp_13.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 269

Kolejność odwiedzanych miast: 1 11 4 6 8 10 12 3 7 5 9 2 13 1

Algorytm Wyżarzania:

Ścieżka = 3,12,10,8,2,13,1,11,4,6,9,5,7,3

Koszt = 301
Czas pomiaru = 0.80662ms

Plik wejściowy tsp_14.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 282
Kolejność odwiedzanych miast: 1 11 4 6 8 10 14 12 3 7 5 9 2 13 1
Algorytm Wyżarzania:
Ścieżka = 2,13,1,11,4,6,8,10,14,12,3,7,5,9,2
Koszt = 282
Czas pomiaru = 1.0165ms

Plik wejściowy tsp_15.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 291
Kolejność odwiedzanych miast: 1 11 4 6 8 10 14 12 3 7 5 9 15 2 13 1
Algorytm Wyżarzania:
Ścieżka = 5,9,15,2,13,1,11,4,6,8,10,14,12,3,7,5
Koszt = 291
Czas pomiaru = 1.03874ms

Plik wejściowy tsp_17.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 39
Kolejność odwiedzanych miast: 1 3 14 2 10 11 13 6 7 15 16 4 5 8 9 17 12 1
Algorytm Wyżarzania:
Ścieżka = 8,2,13,11,10,3,14,1,12,7,16,15,6,5,4,17,9,8
Koszt = 39
Czas pomiaru = 1.60059ms

Plik wejściowy berlin52.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 7542
Kolejność odwiedzanych miast:
Koszt = 8724
Czas pomiaru = 42.806ms

Plik wejściowy br17.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 39
Algorytm Wyżarzania:
Koszt = 39
Czas pomiaru = 1.49067ms

Plik wejściowy brg180.txt
Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 1950
Algorytm Wyżarzania:
Koszt = 3050

Czas pomiaru = 1665.83ms

Plik wejściowy eil76.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 538

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 583

Czas pomiaru = 68.6557ms

Plik wejściowy ftv44.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 1613

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 1973

Czas pomiaru = 21.8517ms

Plik wejściowy ftv70.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 1950

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 2279

Czas pomiaru = 76.9687ms

Plik wejściowy ftv170.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 2755

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 3565

Czas pomiaru = 914.58ms

Plik wejściowy kroA100.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 21282

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 23944

Czas pomiaru = 284.165ms

Plik wejściowy a280.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 2579

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 3025

Czas pomiaru = 3724.78ms

Plik wejściowy rbg443.txt

Minimalny koszt cyklu komiwojażera : 2720

Algorytm Wyżarzania:

Koszt = 2760

Czas pomiaru = 9126.6ms

5. Procedura badawcza

Należało zbadać zależność czasu rozwiązania problemu od wielkości instancji. W przypadku algorytmu Wyżarzania, algorytm ten posiada parametry sterujące programem, które mogą mieć wpływ na czas i jakość uzyskanego wyniku. W związku z tym procedura badawcza polegała na uruchomieniu programu sterowanego plikiem inicjującym ustawienia.ini format pliku:

[SEKCJA1]

Tryb=1

PlikWyjsciowy=tsp_out_multi

PlikWejsciowy=tsp_6_1;tsp_6_2;tsp_10;tsp_12;tsp_13;tsp_14;tsp_15;tsp_17;br17;gr17;gr21;

- Tryb – odpowiada za tryb pracy programu. Ustawione na 0 program testuje dane parametry sterujące według predefiniowanego scenariusza. Ustawione na 1 program testuje pomiar czasu dla generowanych przeddefiniowanych danych. Ustawiony na 2 program czyta pliki wejściowe i zapisuje do pliku wyjściowego
- PlikWyjsciowy – Nazwa pliku wyjściowego. Podajemy tylko nazwę reszta danych takich jak format uzupełniana jest automatycznie przez program.
- PlikWejsciowy - Nazwa plików wejściowych. Podajemy nazwy bez formaty zakończone średnikiem. Pliki wejściowe muszą być w formacie .txt.

Uwaga dane z sekcji 2 i 3 czytane tylko w przypadku ustawienia tryb 2 w sekcji 1.

[SEKCJA2]

TrybGenerowaniaSciezkiPoczątkowej=true

TrybGenerowaniaTemperaturyPoczątkowej=false

WspółczynnikKorekcjiIlosciPrubekGeneracjiZeSredniej=0.9

TrybDłogosciEpoki=6

WspółczynnikKorekcjiDłogosciEpoki=0.3

LiczbaPowtorzenPomiaru=10

- TrybGenerowaniaSciezkiPoczątkowej – Ustawiony na *true* generowanie w sposób zachłanny, *false* sposób losowy.
- TrybGenerowaniaTemperaturyPoczątkowej – Ustawiony na *true* generowanie na podstawie próbkowania, *false* sposób losowy.
- WspółczynnikKorekcjiIlosciPrubekGeneracjiZeSredniej – W przypadku generowania temperatury na podstawie próbkowania koryguje ilość próbek według wzoru $n*n*val$ gdzie n to wielkość instancji a val współczynnik.
- TrybDłogosciEpoki – odpowiada za ustawienie sposobu wyznaczania długości epoki. Odpowiednio:
 - 1 – $n*n*val$ - gdzie val to współczynnik
 - 2 – $n/2$
 - 3 – n
 - 4 – $n*\ln(n)$
 - 5 – $n*n/2$
 - 6 – $n*n$
 - Gdzie n to wielkość instancji

- WspółczynnikKorekcjiDługościEpoki – współczynnik to trybu długości epoki ustawionego na 1
- LiczbaPowtorzenPomiaru – Odpowiada z liczbę powtórzeń pomiaru i wyciągnięcie z niej najmniejszego kosztu.

[SEKCJA3]

Tryb=false

WspółczynnikAlfa=0.8

TrybWyboruWierzchołkow=false

Prawdopodobienstwo=0.95

- Tryb – odpowiada za sposób chłodzenia *true* chłodzenie Boltzmann, *false* chłodzenie Geometryczne
- WspółczynnikAlfa – współczynnik chłodzenia Geometrycznego
- TrybWyboruWierzchołkow – tryb generowania sąsiedztwa *true* wymiana z poprzedzającym *false* losowa zamiana dwóch
- Prawdopodobienstwo – prawdopodobieństwo akceptacji gorszego wyniku

W pierwszym etapie badano wpływ parametrów sterujących na rozwiązanie badane były następujące parametry:

1. Temperatura początkowa:
 - Na podstawie próbkowania:

Z tablicy sąsiedztwa losujemy n próbek odległości z przejścia z miasta A do miasta B a następnie wyznaczamy średnią.

- Jako maksymalna różnica:

W tym przypadku w pierwszym etapie przeglądamy tablicę sąsiedztwa szukając wartości minimalnej i maksymalnej a następnie temperatura początkowa to różnica tych 2 wartości.

W przypadku badania temperatury początkowej, badania prowadzone były w następujący sposób:

- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów za każdym razem generując na nowo temperaturę początkową dla instancji TSP jak i ATSP.
- Ścieżka początkowa była stała przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
- Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Generowanie sąsiedztwa = losowanie 2 wierzchołków i zamiana
 - Ścieżka początkowa = losowa
 - Współczynnik korekcji długości epoki = 0.5
 - Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3

Temperatura początkowa na podstawie różnicy była stała dla 200 pomiarów.

Temperatura początkowa na podstawie średniej – generowano 200 razy dla różnych współczynników korekcji ilości próbek zaczynając od 10% wszystkich z (*liczba wierzchołków* * *liczba wierzchołków*) kończąc na 100%.

2. Ścieżka początkowa

- Losowo:

Wygenerowano ścieżkę w postaci od 1 do n a następnie losowo przemieszano

- Zachłannie:

Wylosowano wierzchołek startowy a następnie zachłannie wybierano wierzchołek z najmniejszym kosztem przejścia który nie został jeszcze odwiedzony.

W przypadku badania ścieżki początkowej, badania prowadzone były w następujący sposób:

- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów za każdym razem generując na nowo ścieżkę początkową dla instancji TSP jak i ATSP.
- Temperatura początkowa była stała przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
- Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3(tylko w przypadku geometrycznego)
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Generowanie sąsiedztwa = losowanie 2 wierzchołków i zamiana
 - Współczynnik korekcji długości epoki = 0.5
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3
 - Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki
 - Temperatura początkowa na podstawie różnicy

Ścieżki były za każdym razem generowane na nowo po 200 razy dla generowania losowego i zachłannego.

3. Sposób chłodzenia

- Geometryczny:

Temperatura obniżana za pomocą współczynnika alfa

- Boltzmanna:

Temperatura obniżana za pomocą numeru epoki.

W przypadku badania sposobu chłodzenia, badania prowadzone były w następujący sposób:

- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów dla instancji TSP jak i ATSP.
- Temperatura początkowa jak i ścieżka początkowa były stałe przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
- Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Generowanie sąsiedztwa = losowanie 2 wierzchołków i zamiana
 - Współczynnik korekcji długości epoki = 0.5
 - Temperatura początkowa na podstawie różnicy
 - Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki
 - Ścieżka początkowa = losowo

W przypadku chłodzenia geometrycznego wykonano po 200 pomiarów dla współczynnika od 0.1 do 0.9 co 0.1

W przypadku chłodzenia Boltzmanna wykonano 200 pomiarów.

4. Długość epoki

W przypadku badania długości epoki, badania prowadzone były w następujący sposób:

- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów dla instancji TSP jak i ATSP.
- Temperatura początkowa jak i ścieżka początkowa były stałe przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
- Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Generowanie sąsiedztwa = losowanie 2 wierzchołków i zamiana
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3
 - Temperatura początkowa na podstawie różnicy
 - Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki
 - Ścieżka początkowa = losowo

W tym przypadku sposób wyznaczania długości epoki poprzez następujące wzory $n/2$; n ; $n*\log(n)$; $n*n/2$; $n*n$ gdzie n to wielkość instancji.

5. Sposobu wyboru sąsiedztwa

- Losowo 2 wierzchołki:

Losowano 2 wierzchołki i zamieniano je ze sobą

- Zamiana z poprzedzającym:

Losowano wierzchołek w ścieżce i zamieniano go z poprzedzającym.

W przypadku badania sposobu wyboru sąsiedztwa badania prowadzone były w następujący sposób:

- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów za każdym razem generując ścieżkę na nowo dla instancji TSP jak i ATSP.
- Temperatura początkowa była stała przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
- Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Współczynnik korekcji długości epoki = 0.5
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3
 - Temperatura początkowa na podstawie różnicy
 - Ścieżka początkowa = losowo

W tym przypadku wygenerowano 200 ścieżek losowych i 200 ścieżek zachłannie dla każdego z plików a następnie wyznaczono trasy stosując zamianę 2 losowych i zamianę z poprzedzającym.

6. Dobór poziomu akceptacji gorszej drogi:
- Na 4 plikach testowych wykonano 200 pomiarów dla instancji TSP jak i ATSP.
 - Temperatura początkowa i ścieżka były stałe przez cały okres pomiaru to jest 200 pomiarów.
 - Parametry konfiguracyjne dla obu schematów chłodzenia to:
 - Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
 - Współczynnik korekcji długości epoki = 0.5
 - Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.3
 - Temperatura początkowa na podstawie różnicy
 - Ścieżka początkowa = losowo
 - Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki

W tym przypadku dla wygenerowanej ścieżki przeprowadzono po 200 pomiarów dla każdego z poziomów dokładności 90%, 95%, 99%, 99,9%.

Kolejnym etapem był pomiar złożoności czasowej algorytmu – dzięki uzyskanym wynikom z wcześniejszych pomiarów możliwe było wyznaczenie najlepszych parametrów. Co prawda można by dobierać dokładnie parametry dla poszczególnych instancji aby uzyskiwać możliwie najlepsze wyniki. Jednakże podjęto decyzję o zastosowaniu uniwersalnych kosztem złożoności czasowej.

Dlatego też do pomiarów poprawności i jakości wyniku jak i złożoności czasowej zastosowano poniższe parametry:

- Prawdopodobieństwo akceptacji = 0.95
- Długość epoki generowana za pomocą wzoru n^2
- Współczynnik chłodzenia geometrycznego = 0.5
- Temperatura początkowa na podstawie różnicy
- Ścieżka początkowa = zachłanna
- Sposób wyboru sąsiedztwa = losowo 2 wierzchołki

Pomiary wykonano dla 4 plików TSP i ATSP po 10 pomiarów w celu wyznaczenia najlepszej możliwej trasy.

W ostatnim etapie badano już sam czas dla losowo generowanych instancji wielkości od 10 do 860 co 10. W tym przypadku nie mierzyliśmy już jakości a jedynie sam czas pomiarów. Badanie przeprowadzona na instancjach wielkości 1-10, 11-10 000, 10 001- 10 000 000 aby zbadać czy odległości między wierzchołkami w instancji mają wpływ na wynik. Dla małych instancji to jest od 10 do 100 stosowano metodę wygenerowania 5 różnych instancji i wykonania 100 powtórzeń pomiaru na podstawie których wyciągano średnią. Natomiast dla instancji od 110 do 370 stosowano metodę wygenerowania 5 różnych instancji i powtórzeniu pomiaru 10 razy. Dzięki czemu w sposób znaczący zaoszczędzono czas. Ze względu na tempo wzrostu czasu pomiarowego. Pomiary dla instancji 380 do 860 wykonane zostały poprzez wygenerowanie 1 instancji i powtórzenie pomiaru 5 razy. Dodatkowo na koniec zmierzono czas inicjalizacji w przypadku instancji maksymalnej badanej tj. 860 – ścieżka początkowa zachłanna t_0 maksymalne. Ponieważ w całych pomiarach mierzyliśmy tylko czas samego algorytmu nie badając jaki jest stosunek czasu inicjalizacji do czasu algorytmu.

7. Wyniki

1. Pomiar parametru temperatury początkowej

| Nazwa pliku | Tryb T0 | Współczynnik | Geo | | Boltzmann | | Wartość optymalna |
|-------------|--------------------|--------------|---------|---------|-----------|---------|-------------------|
| | | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| br17.txt | AVG | 0,1 | 44,00 | 44,00 | 41,01 | 41,00 | 39,00 |
| | | 0,2 | 44,00 | 44,00 | 41,00 | 41,00 | 39,00 |
| | | 0,3 | 44,00 | 44,00 | 41,00 | 41,00 | 39,00 |
| | | 0,4 | 44,00 | 44,00 | 41,00 | 41,00 | 39,00 |
| | | 0,5 | 45,13 | 44,00 | 41,38 | 41,00 | 39,00 |
| | | 0,6 | 47,00 | 47,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | | 0,7 | 47,00 | 47,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | | 0,8 | 47,00 | 47,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | | 0,9 | 47,00 | 47,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | | 1,0 | 47,00 | 47,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | Maksymalna różnica | | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 41,00 | 39,00 |
| ftv44.txt | AVG | 0,1 | 2414,62 | 2232,00 | 2343,22 | 2183,00 | 1613,00 |
| | | 0,2 | 2399,27 | 2308,00 | 2358,54 | 2208,00 | 1613,00 |
| | | 0,3 | 2573,08 | 2227,00 | 2502,31 | 2151,00 | 1613,00 |
| | | 0,4 | 2207,31 | 2117,00 | 2166,56 | 2094,00 | 1613,00 |
| | | 0,5 | 2394,88 | 2117,00 | 2365,06 | 2094,00 | 1613,00 |
| | | 0,6 | 2303,83 | 2191,00 | 2218,23 | 2149,00 | 1613,00 |
| | | 0,7 | 2270,70 | 2194,00 | 2163,13 | 2029,00 | 1613,00 |
| | | 0,8 | 2207,67 | 2120,00 | 2191,71 | 2081,00 | 1613,00 |
| | | 0,9 | 2375,66 | 2120,00 | 2298,48 | 2081,00 | 1613,00 |
| | | 1,0 | 2433,73 | 2104,00 | 2364,94 | 2220,00 | 1613,00 |
| | Maksymalna różnica | | 2394,90 | 2226,00 | 2231,91 | 2068,00 | 1613,00 |
| ftv70.txt | AVG | 0,1 | 3168,93 | 2964,00 | 3023,75 | 2823,00 | 1950,00 |
| | | 0,2 | 3194,53 | 2868,00 | 3014,00 | 2800,00 | 1950,00 |
| | | 0,3 | 3223,85 | 2963,00 | 3031,22 | 2848,00 | 1950,00 |
| | | 0,4 | 3319,34 | 2926,00 | 3185,96 | 2796,00 | 1950,00 |
| | | 0,5 | 3319,83 | 2836,00 | 3174,01 | 2796,00 | 1950,00 |
| | | 0,6 | 3304,90 | 3032,00 | 3149,85 | 2836,00 | 1950,00 |
| | | 0,7 | 3149,01 | 2622,00 | 3007,82 | 2737,00 | 1950,00 |
| | | 0,8 | 3320,25 | 3075,00 | 3044,26 | 2893,00 | 1950,00 |
| | | 0,9 | 3265,25 | 3070,00 | 3047,33 | 2871,00 | 1950,00 |
| | | 1,0 | 3465,70 | 3265,00 | 3220,96 | 2998,00 | 1950,00 |
| | Maksymalna różnica | | 3122,49 | 2899,00 | 3027,94 | 2783,00 | 1950,00 |
| ftv170.txt | AVG | 0,1 | 6412,41 | 5644,00 | 6051,01 | 5418,00 | 2755,00 |
| | | 0,2 | 6456,47 | 5789,00 | 6016,53 | 5333,00 | 2755,00 |
| | | 0,3 | 6570,32 | 5950,00 | 6109,70 | 5335,00 | 2755,00 |

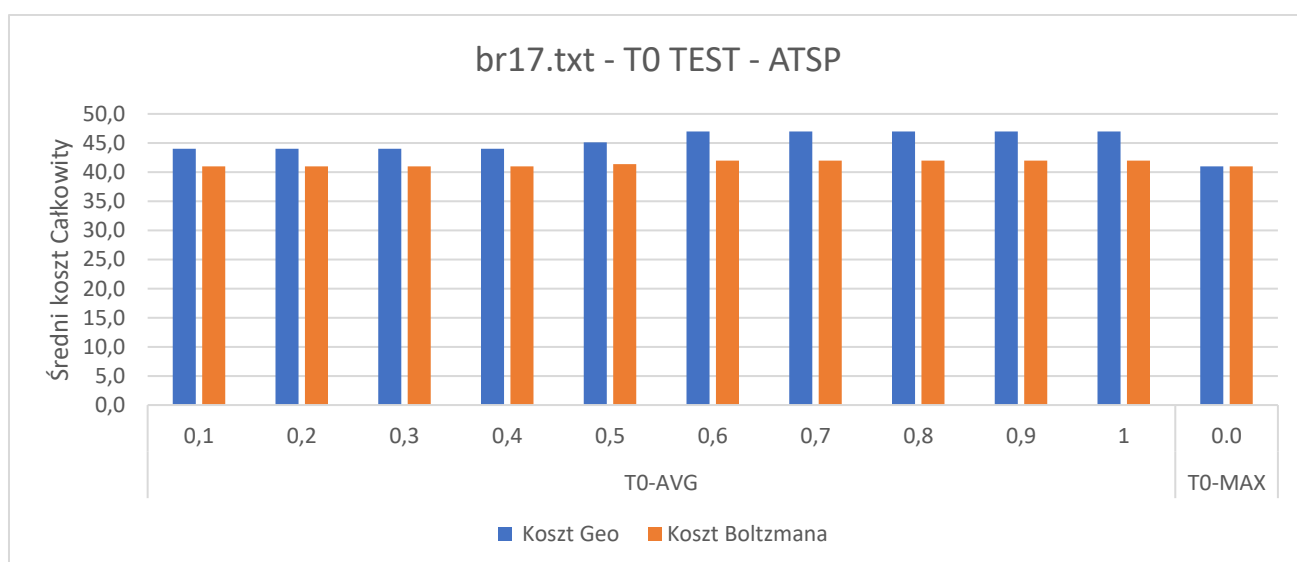
| | | | | | | | |
|--|--|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0,4 | 6497,52 | 5543,00 | 6067,70 | 5202,00 | 2755,00 |
| | | 0,5 | 6471,22 | 5801,00 | 6091,68 | 5364,00 | 2755,00 |
| | | 0,6 | 6562,30 | 5968,00 | 6074,66 | 5428,00 | 2755,00 |
| | | 0,7 | 6591,53 | 5952,00 | 6111,22 | 5434,00 | 2755,00 |
| | | 0,8 | 6483,54 | 5816,00 | 6077,61 | 5251,00 | 2755,00 |
| | | 0,9 | 6483,20 | 5796,00 | 6109,74 | 5426,00 | 2755,00 |
| | | 1,0 | 6500,65 | 5782,00 | 6042,77 | 5406,00 | 2755,00 |
| | | Maksymalna różnica | 6332,77 | 5766,00 | 5769,81 | 5026,00 | 2755,00 |

Tabela 1 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru temperatury początkowej instancji ATSP.

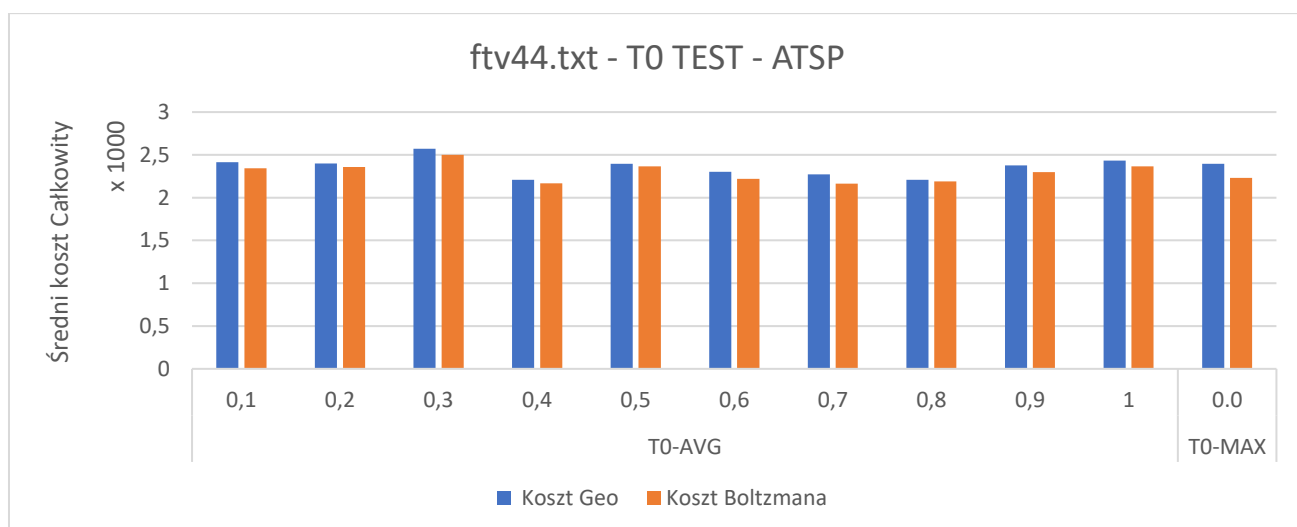
| Nazwa pliku | Tryb T0 | Współczynnik | Boltzmann | Geo |
|-------------|---------------------------|--------------|-----------|------|
| br17.txt | AVG | 0,1 | 6,16 | 2,89 |
| | | 0,2 | 6,10 | 2,94 |
| | | 0,3 | 6,08 | 2,96 |
| | | 0,4 | 6,03 | 3,00 |
| | | 0,5 | 6,01 | 3,00 |
| | | 0,6 | 6,01 | 3,00 |
| | | 0,7 | 6,01 | 3,00 |
| | | 0,8 | 6,01 | 3,00 |
| | | 0,9 | 6,00 | 3,00 |
| | | 1,0 | 6,00 | 3,00 |
| | Maksymalna różnica | | 8,00 | 4,00 |
| ftv44.txt | AVG | 0,1 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,2 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,3 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,4 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,5 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,6 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,7 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,8 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,9 | 9,00 | 5,00 |
| | | 1,0 | 9,00 | 5,00 |
| | Maksymalna różnica | | 10,00 | 5,00 |
| ftv70.txt | AVG | 0,1 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,2 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,3 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,4 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,5 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,6 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,7 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,8 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,9 | 9,00 | 5,00 |

| | | | | |
|------------|-----|---------------------------|-------|------|
| | | 1,0 | 9,00 | 5,00 |
| | | Maksymalna różnica | 10,00 | 5,00 |
| ftv170.txt | AVG | 0,1 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,2 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,3 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,4 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,5 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,6 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,7 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,8 | 9,00 | 5,00 |
| | | 0,9 | 9,00 | 5,00 |
| | | 1,0 | 9,00 | 5,00 |
| | | Maksymalna różnica | 10,00 | 5,00 |

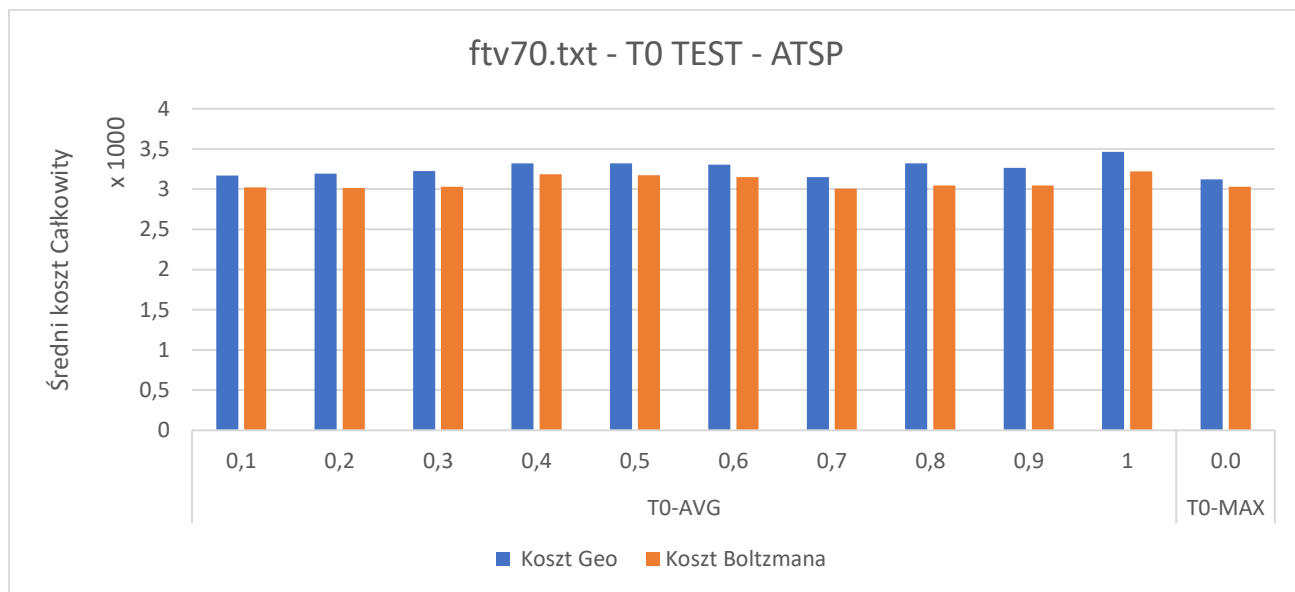
Tabela 2 – Liczba epok w zależności od temperatury początkowej instancji ATSP.



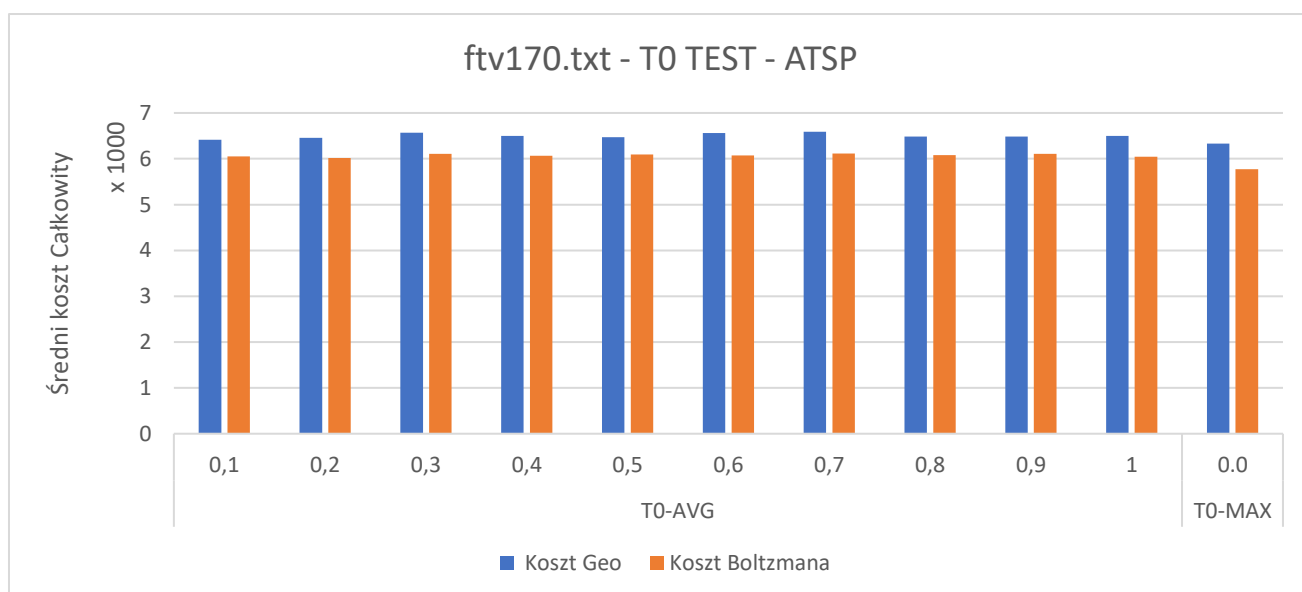
Wykres 1 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania TO i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 2 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 1 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 4 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji ATSP.

| Nazwa pliku | Tryb TO | Współczynnik | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|--------------|--------------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| berlin52.tsp | AVG | 0,1 | 10523,92 | 9960,00 | 10580,33 | 10100,00 | 7542,00 |
| | | 0,2 | 10484,21 | 9105,00 | 10776,31 | 10221,00 | 7542,00 |
| | | 0,3 | 10189,27 | 9442,00 | 10172,52 | 9314,00 | 7542,00 |
| | | 0,4 | 10329,21 | 9296,00 | 10565,30 | 9892,00 | 7542,00 |
| | | 0,5 | 10372,31 | 9296,00 | 10450,44 | 9976,00 | 7542,00 |
| | | 0,6 | 10703,50 | 10010,00 | 10947,75 | 9921,00 | 7542,00 |
| | | 0,7 | 9834,31 | 9506,00 | 10227,58 | 9363,00 | 7542,00 |
| | | 0,8 | 10176,33 | 9632,00 | 10612,81 | 9803,00 | 7542,00 |
| | | 0,9 | 9906,10 | 8782,00 | 10544,52 | 9189,00 | 7542,00 |
| | | 1,0 | 10228,14 | 8749,00 | 10068,99 | 8590,00 | 7542,00 |
| | Maksymalna różnica | | 9509,57 | 8842,00 | 10267,03 | 9339,00 | 7542,00 |
| eil76.tsp | AVG | 0,1 | 731,83 | 699,00 | 798,40 | 733,00 | 538,00 |
| | | 0,2 | 762,00 | 715,00 | 813,89 | 743,00 | 538,00 |
| | | 0,3 | 757,15 | 707,00 | 796,93 | 734,00 | 538,00 |
| | | 0,4 | 787,25 | 707,00 | 847,12 | 734,00 | 538,00 |
| | | 0,5 | 773,78 | 713,00 | 815,93 | 745,00 | 538,00 |
| | | 0,6 | 752,38 | 713,00 | 800,06 | 745,00 | 538,00 |
| | | 0,7 | 752,36 | 696,00 | 801,00 | 748,00 | 538,00 |
| | | 0,8 | 730,39 | 676,00 | 804,92 | 748,00 | 538,00 |
| | | 0,9 | 743,95 | 688,00 | 780,05 | 700,00 | 538,00 |
| | | 1,0 | 738,82 | 668,00 | 796,18 | 751,00 | 538,00 |
| | Maksymalna różnica | | 725,56 | 675,00 | 762,34 | 706,00 | 538,00 |
| korA100.tsp | AVG | 0,1 | 38827,99 | 33801,00 | 40707,10 | 34324,00 | 21282,00 |
| | | 0,2 | 39501,09 | 32826,00 | 41293,98 | 35467,00 | 21282,00 |
| | | 0,3 | 38488,68 | 33644,00 | 40339,37 | 33730,00 | 21282,00 |
| | | 0,4 | 38416,71 | 33665,00 | 40689,93 | 34060,00 | 21282,00 |
| | | 0,5 | 39154,81 | 33665,00 | 41618,28 | 35190,00 | 21282,00 |
| | | 0,6 | 38196,31 | 33550,00 | 40631,32 | 35695,00 | 21282,00 |
| | | 0,7 | 38016,58 | 33074,00 | 40145,92 | 35031,00 | 21282,00 |
| | | 0,8 | 38625,74 | 33362,00 | 40213,26 | 33648,00 | 21282,00 |
| | | 0,9 | 38553,40 | 33597,00 | 40338,93 | 34293,00 | 21282,00 |
| | | 1,0 | 39133,93 | 32109,00 | 41440,59 | 35022,00 | 21282,00 |
| | Maksymalna różnica | | 34785,61 | 30069,00 | 38103,06 | 32971,00 | 21282,00 |
| brg180.tsp | AVG | 0,1 | 3844,80 | 3520,00 | 4068,70 | 3580,00 | 1950,00 |
| | | 0,2 | 3871,40 | 3540,00 | 4053,55 | 3700,00 | 1950,00 |
| | | 0,3 | 3855,60 | 3530,00 | 4127,95 | 3730,00 | 1950,00 |
| | | 0,4 | 3879,15 | 3530,00 | 4014,45 | 3670,00 | 1950,00 |

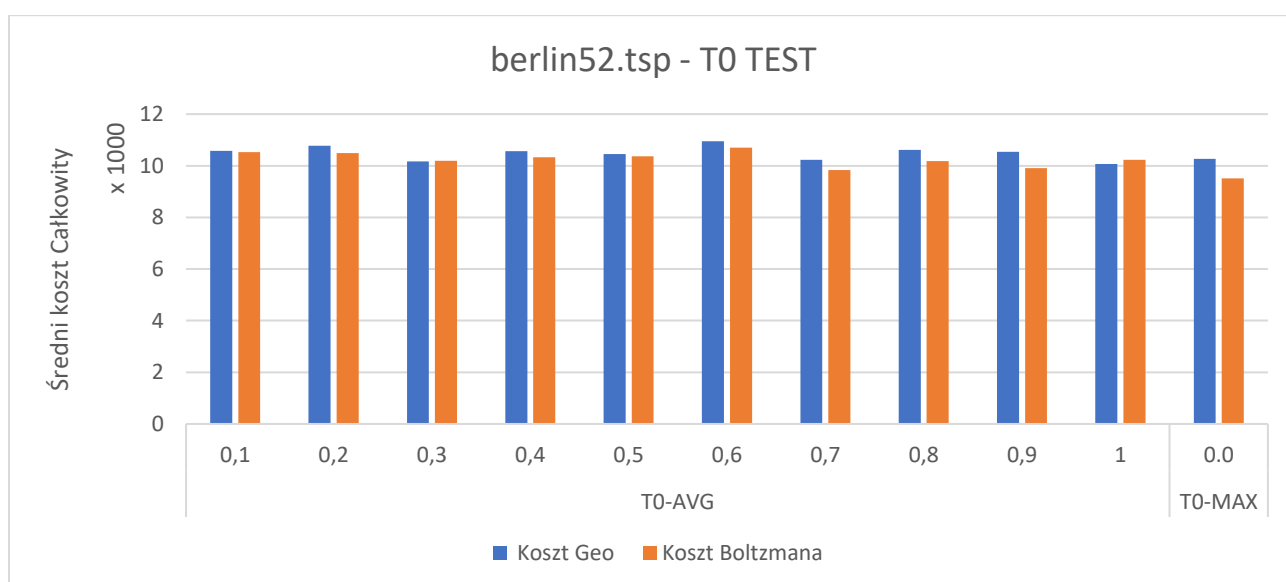
| | | | | | | |
|--|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0,5 | 3873,30 | 3520,00 | 4007,45 | 3660,00 | 1950,00 |
| | 0,6 | 3857,00 | 3580,00 | 4099,05 | 3730,00 | 1950,00 |
| | 0,7 | 3838,40 | 3490,00 | 4131,90 | 3680,00 | 1950,00 |
| | 0,8 | 3845,30 | 3570,00 | 4034,80 | 3710,00 | 1950,00 |
| | 0,9 | 3866,10 | 3540,00 | 4072,15 | 3620,00 | 1950,00 |
| | 1,0 | 3845,85 | 3590,00 | 4075,35 | 3690,00 | 1950,00 |
| | Maksymalna różnica | 3848,65 | 3590,00 | 4082,25 | 3580,00 | 1950,00 |

Tabela 3 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru temperatury początkowej instancji TSP.

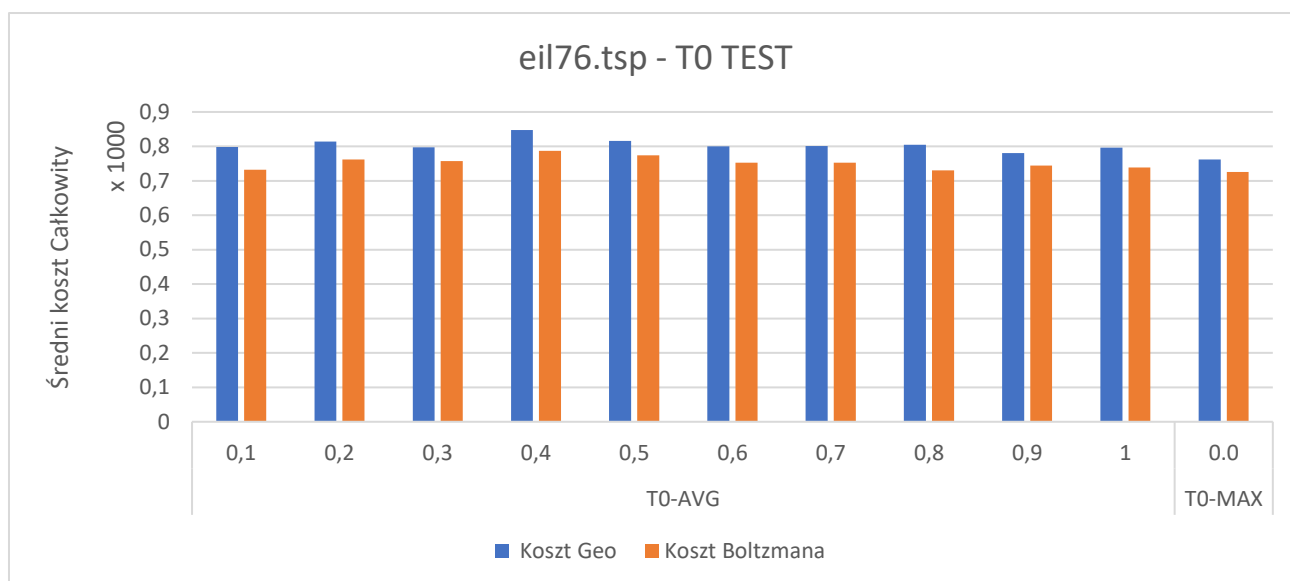
| Nazwa pliku | Tryb T0 | Współczynnik | Boltzmann | Geo |
|--------------|---------------------------|--------------|-----------|------|
| berlin52.tsp | AVG | 0,1 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,2 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,3 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,4 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,5 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,6 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,7 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,8 | 11,00 | 6,00 |
| | | 0,9 | 11,00 | 6,00 |
| | | 1,0 | 11,00 | 6,00 |
| | Maksymalna różnica | | 12,00 | 7,00 |
| eil76.tsp | AVG | 0,1 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,2 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,3 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,4 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,5 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,6 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,7 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,8 | 7,00 | 3,00 |
| | | 0,9 | 7,00 | 3,00 |
| | | 1,0 | 7,00 | 3,00 |
| | Maksymalna różnica | | 8,00 | 4,00 |
| korA100.tsp | AVG | 0,1 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,2 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,3 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,4 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,5 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,6 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,7 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,8 | 12,00 | 7,00 |
| | | 0,9 | 12,00 | 7,00 |
| | | 1,0 | 12,00 | 7,00 |

| | | | | |
|------------|---------------------------|-----|-------|------|
| | Maksymalna różnica | | 13,00 | 5,00 |
| brg180.tsp | AVG | 0,1 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,2 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,3 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,4 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,5 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,6 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,7 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,8 | 13,00 | 8,00 |
| | | 0,9 | 13,00 | 8,00 |
| | | 1,0 | 13,00 | 8,00 |
| | Maksymalna różnica | | 14,00 | 8,00 |

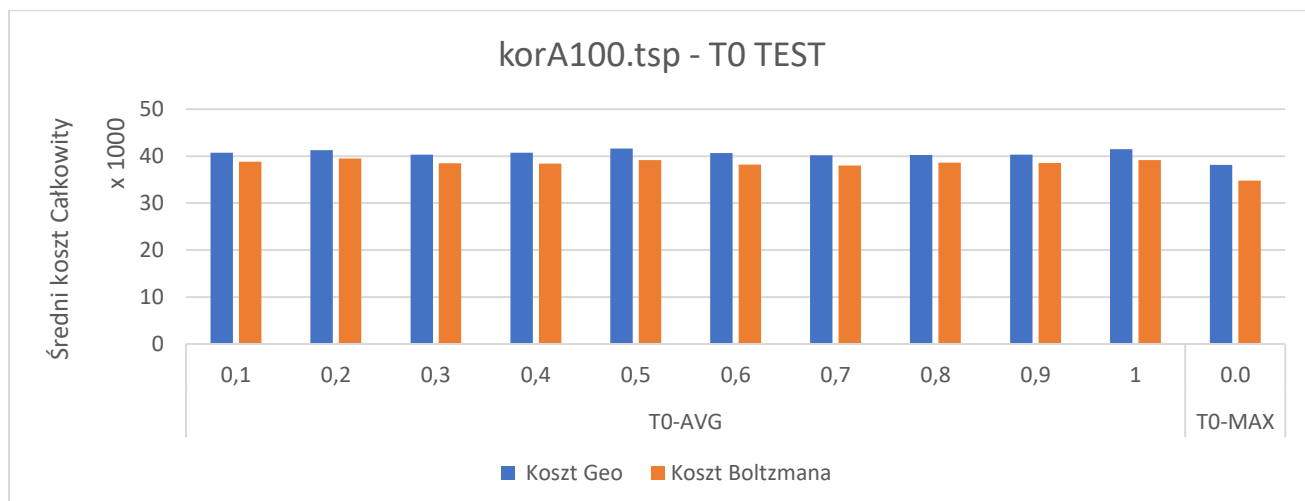
Tabela 4 – Liczba epok w zależności od temperatury początkowej instancji TSP.



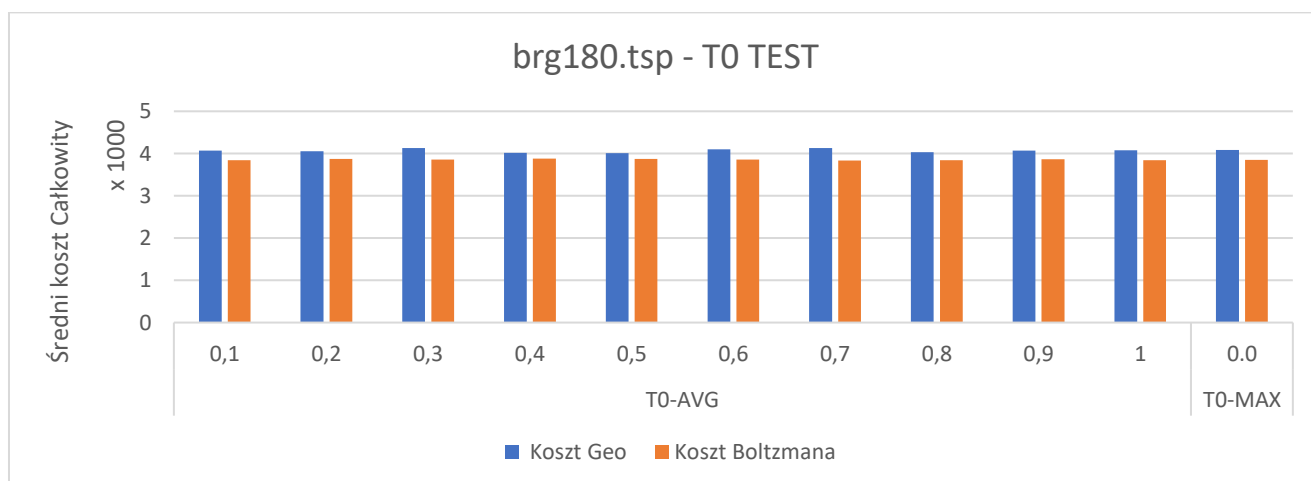
Wykres 5 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji TSP.



Wykres 6 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji TSP.



Wykres 7 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji TSP.



Wykres 8 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania T0 i rodzaju instancji TSP.

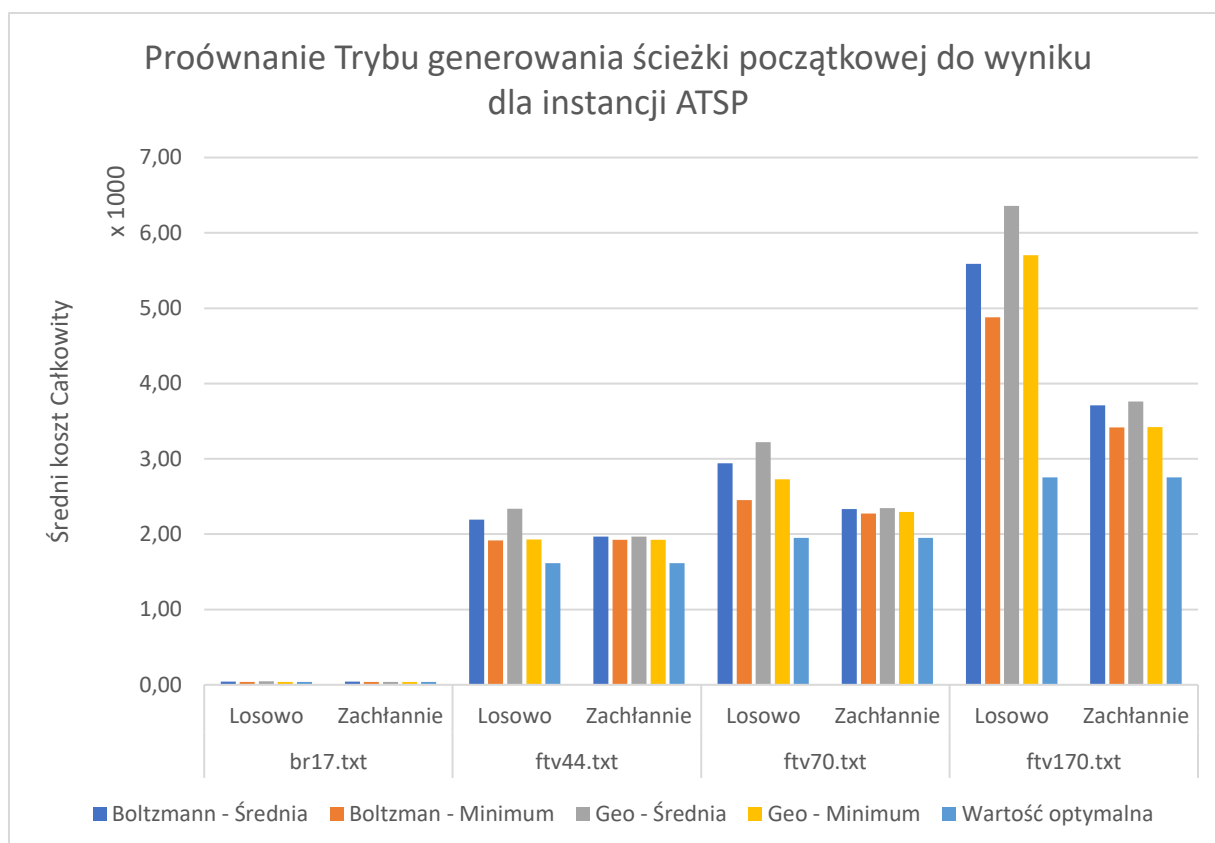
2. Pomiar parametru generowania ścieżki początkowej:

| Nazwa pliku | Tryb Ścieżki Początkowej | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|-------------|--------------------------|-----------|---------|---------|---------|-------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| br17.txt | Losowo | 41,45 | 39,00 | 44,90 | 39,00 | 39,00 |
| | Zachłannie | 41,87 | 39,00 | 39,96 | 39,00 | 39,00 |
| ftv44.txt | Losowo | 2191,31 | 1915,00 | 2339,25 | 1931,00 | 1613,00 |
| | Zachłannie | 1967,12 | 1924,00 | 1967,12 | 1924,00 | 1613,00 |
| ftv70.txt | Losowo | 2941,06 | 2451,00 | 3222,01 | 2729,00 | 1950,00 |
| | Zachłannie | 2332,89 | 2273,00 | 2347,61 | 2293,00 | 1950,00 |
| ftv170.txt | Losowo | 5589,73 | 4877,00 | 6356,10 | 5702,00 | 2755,00 |
| | Zachłannie | 3710,80 | 3415,00 | 3761,39 | 3420,00 | 2755,00 |

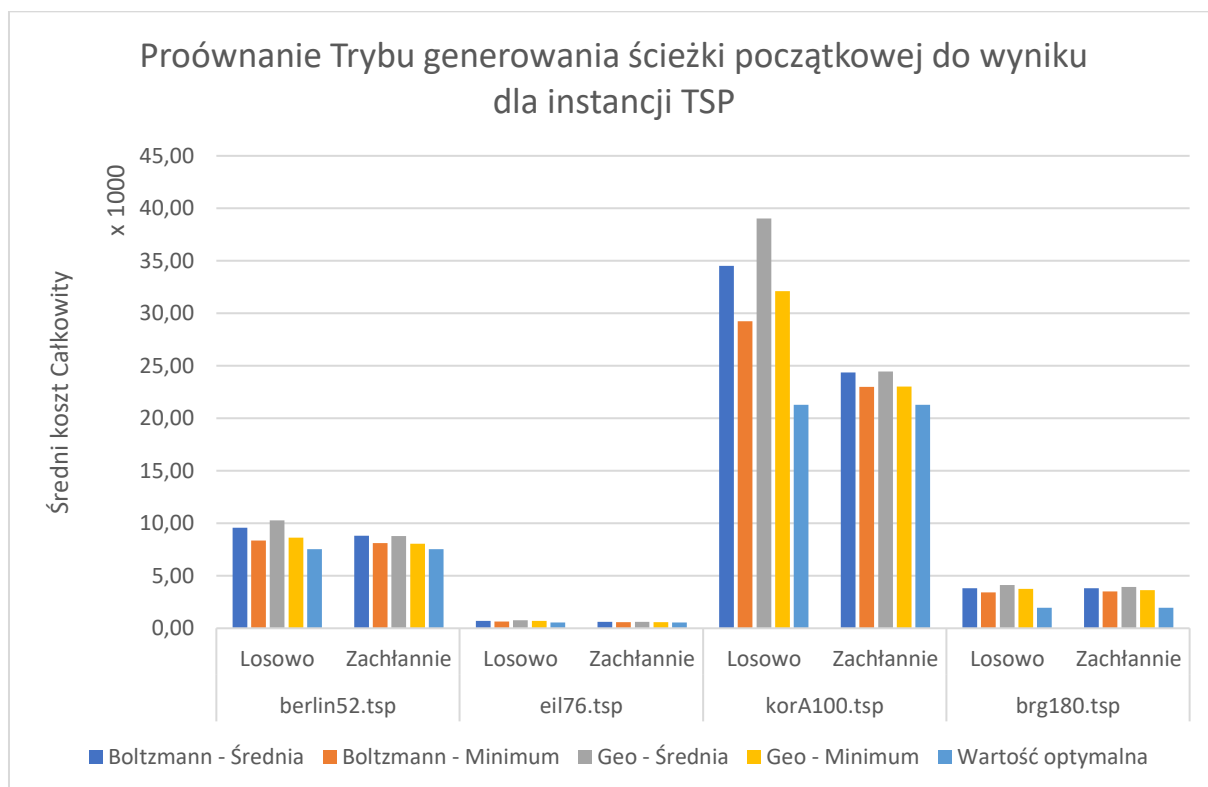
Tabela 5 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru temperatury początkowej instancji ATSP.

| Nazwa pliku | Tryb Ścieżki Początkowej | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|--------------|--------------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| berlin52.tsp | Losowo | 9567,19 | 8359,00 | 10279,68 | 8633,00 | 7542,00 |
| | Zachłannie | 8816,55 | 8102,00 | 8786,04 | 8040,00 | 7542,00 |
| eil76.tsp | Losowo | 699,02 | 636,00 | 771,40 | 693,00 | 538,00 |
| | Zachłannie | 614,50 | 590,00 | 626,00 | 595,00 | 538,00 |
| korA100.tsp | Losowo | 34529,25 | 29242,00 | 39031,67 | 32102,00 | 21282,00 |
| | Zachłannie | 24380,42 | 22979,00 | 24455,21 | 23027,00 | 21282,00 |
| brg180.tsp | Losowo | 3827,50 | 3430,00 | 4124,65 | 3760,00 | 1950,00 |
| | Zachłannie | 3819,95 | 3510,00 | 3926,90 | 3620,00 | 1950,00 |

Tabela 6 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru temperatury początkowej instancji TSP.



Wykres 9 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania ścieżki początkowej i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 10 – Średni i minimalny koszt w zależności od trybu generowania ścieżki początkowej i rodzaju instancji TSP.

3. Pomiar parametru sposobu chłodzenia:

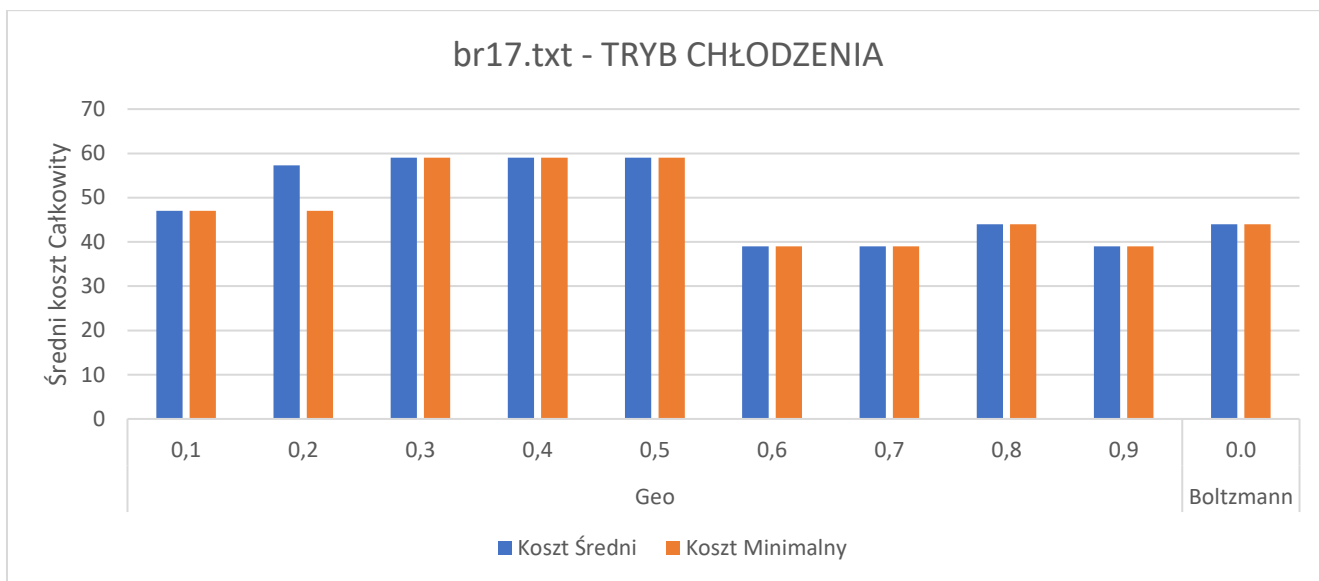
| Nazwa pliku | Tryb Chłodzenia | Współczynnik alfa | Średnia | Minimum | Wartość optymalna |
|-------------|-----------------|-------------------|---------|---------|-------------------|
| br17.txt | Geo | 0,1 | 47,00 | 47,00 | 39,00 |
| | | 0,2 | 57,26 | 47,00 | 39,00 |
| | | 0,3 | 59,00 | 59,00 | 39,00 |
| | | 0,4 | 59,00 | 59,00 | 39,00 |
| | | 0,5 | 59,00 | 59,00 | 39,00 |
| | | 0,6 | 39,00 | 39,00 | 39,00 |
| | | 0,7 | 39,00 | 39,00 | 39,00 |
| | | 0,8 | 44,00 | 44,00 | 39,00 |
| | | 0,9 | 39,00 | 39,00 | 39,00 |
| | Boltzmann | | 44,00 | 44,00 | 39,00 |
| ftv44.txt | Geo | 0,1 | 2161,00 | 2161,00 | 1613,00 |
| | | 0,2 | 2261,80 | 2161,00 | 1613,00 |
| | | 0,3 | 2372,00 | 2372,00 | 1613,00 |
| | | 0,4 | 2501,34 | 2242,00 | 1613,00 |
| | | 0,5 | 2440,52 | 2382,00 | 1613,00 |
| | | 0,6 | 2012,02 | 1906,00 | 1613,00 |
| | | 0,7 | 2202,37 | 1906,00 | 1613,00 |
| | | 0,8 | 2187,66 | 2125,00 | 1613,00 |
| | | 0,9 | 2175,15 | 1995,00 | 1613,00 |
| | Boltzmann | | 2218,74 | 2159,00 | 1613,00 |
| ftv70.txt | Geo | 0,1 | 3356,15 | 3272,00 | 1950,00 |
| | | 0,2 | 3148,88 | 3108,00 | 1950,00 |
| | | 0,3 | 3175,32 | 3096,00 | 1950,00 |
| | | 0,4 | 3288,18 | 3058,00 | 1950,00 |
| | | 0,5 | 3068,24 | 3015,00 | 1950,00 |
| | | 0,6 | 3092,35 | 2619,00 | 1950,00 |
| | | 0,7 | 3053,47 | 2794,00 | 1950,00 |
| | | 0,8 | 3011,33 | 2721,00 | 1950,00 |
| | | 0,9 | 2800,23 | 2482,00 | 1950,00 |
| | Boltzmann | | 3077,98 | 2856,00 | 1950,00 |
| ftv170.txt | Geo | 0,1 | 6871,13 | 6401,00 | 2755,00 |
| | | 0,2 | 6622,08 | 5902,00 | 2755,00 |
| | | 0,3 | 6375,57 | 5903,00 | 2755,00 |
| | | 0,4 | 6191,65 | 5380,00 | 2755,00 |
| | | 0,5 | 6016,22 | 5420,00 | 2755,00 |
| | | 0,6 | 5880,07 | 5208,00 | 2755,00 |
| | | 0,7 | 5641,76 | 5130,00 | 2755,00 |
| | | 0,8 | 5531,37 | 4975,00 | 2755,00 |
| | | 0,9 | 5249,16 | 4608,00 | 2755,00 |
| | Boltzmann | | 5871,35 | 5188,00 | 2755,00 |

Tabela 7 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru sposobu chłodzenia instancji ATSP.

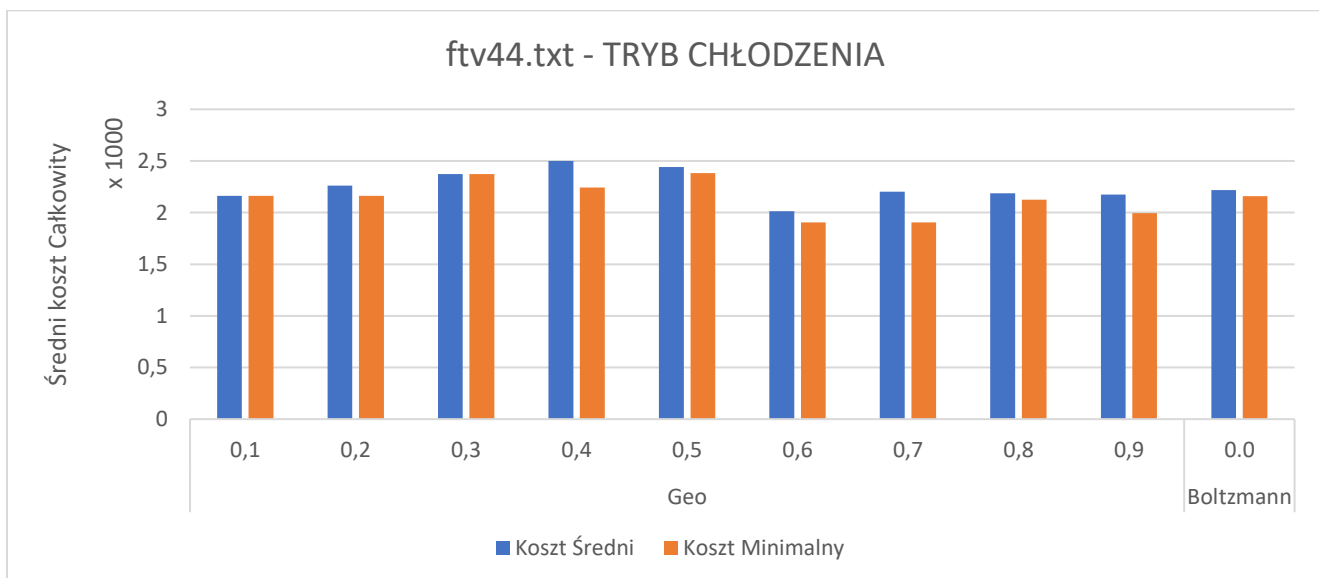
| Nazwa pliku | Tryb Chłodzenia | Współczynnik alfa | Średnia liczba stopni |
|-------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| br17.txt | Geo | 0,1 | 2,00 |
| | | 0,2 | 3,00 |
| | | 0,3 | 4,00 |
| | | 0,4 | 5,00 |
| | | 0,5 | 7,00 |
| | | 0,6 | 9,00 |
| | | 0,7 | 13,00 |
| | | 0,8 | 20,00 |
| | | 0,9 | 41,00 |
| | Boltzmann | | 8,00 |
| ftv44.txt | Geo | 0,1 | 3,00 |
| | | 0,2 | 4,00 |
| | | 0,3 | 5,00 |
| | | 0,4 | 7,00 |
| | | 0,5 | 9,00 |
| | | 0,6 | 12,00 |
| | | 0,7 | 17,00 |
| | | 0,8 | 26,00 |
| | | 0,9 | 55,00 |
| | Boltzmann | | 10,00 |
| ftv70.txt | Geo | 0,1 | 3,00 |
| | | 0,2 | 4,00 |
| | | 0,3 | 5,00 |
| | | 0,4 | 7,00 |
| | | 0,5 | 9,00 |
| | | 0,6 | 12,00 |
| | | 0,7 | 17,00 |
| | | 0,8 | 27,00 |
| | | 0,9 | 56,00 |
| | Boltzmann | | 10,00 |
| ftv170.txt | Geo | 0,1 | 3,00 |
| | | 0,2 | 4,00 |
| | | 0,3 | 5,00 |
| | | 0,4 | 7,00 |
| | | 0,5 | 9,00 |
| | | 0,6 | 12,00 |
| | | 0,7 | 17,00 |
| | | 0,8 | 27,00 |

| | | |
|------------------|-----|-------|
| | 0,9 | 56,00 |
| Boltzmann | | 10,00 |

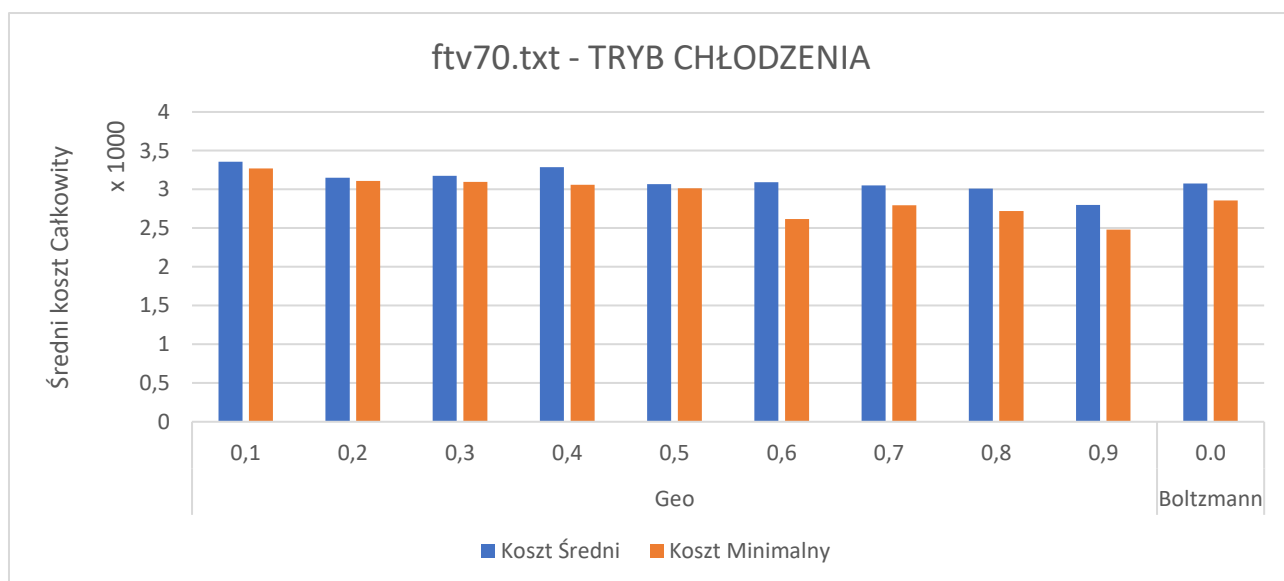
Tabela 8 – Wartości średnia liczny stopni dla testów wyboru sposobu chłodzenia instancji ATSP.



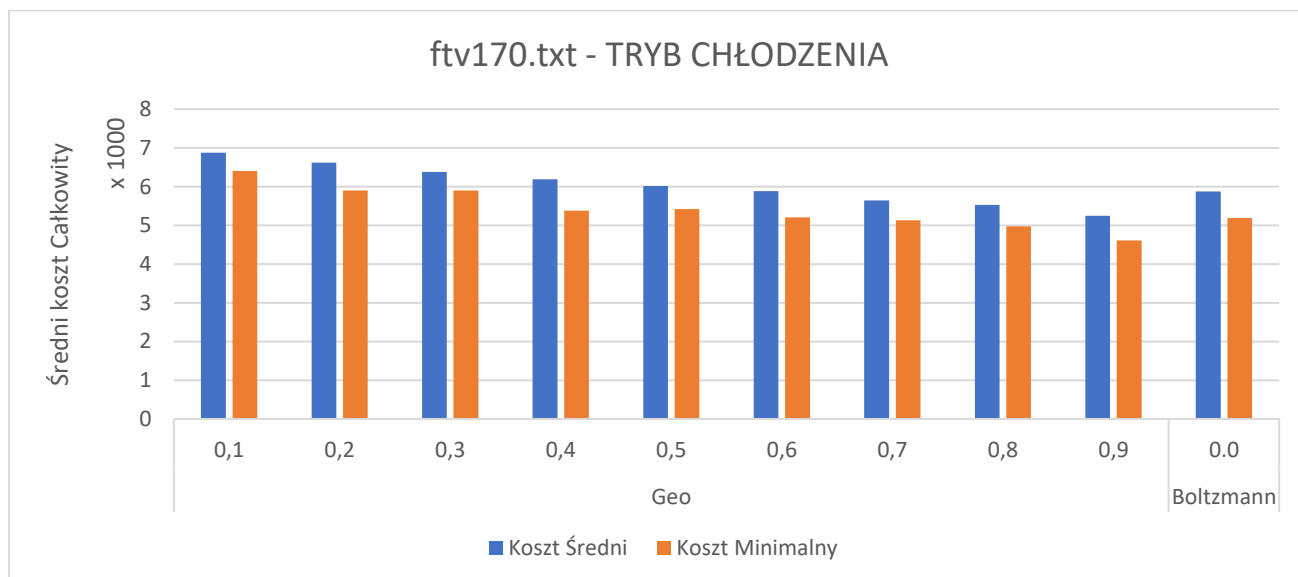
Wykres 11 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 12 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 13 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 14 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji ATSP.

| Nazwa pliku | Tryb Chłodzenia | Współczynnik alfa | Średnia | Mini- mum | Wartość optymalna |
|--------------|-----------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|
| berlin52.tsp | Geo | 0,1 | 11231,64 | 11165,00 | 7542,00 |
| | | 0,2 | 10870,54 | 10012,00 | 7542,00 |
| | | 0,3 | 9815,40 | 9788,00 | 7542,00 |
| | | 0,4 | 9952,50 | 9819,00 | 7542,00 |
| | | 0,5 | 9803,65 | 9666,00 | 7542,00 |
| | | 0,6 | 9958,10 | 9453,00 | 7542,00 |
| | | 0,7 | 10190,23 | 9809,00 | 7542,00 |
| | | 0,8 | 9511,41 | 8820,00 | 7542,00 |

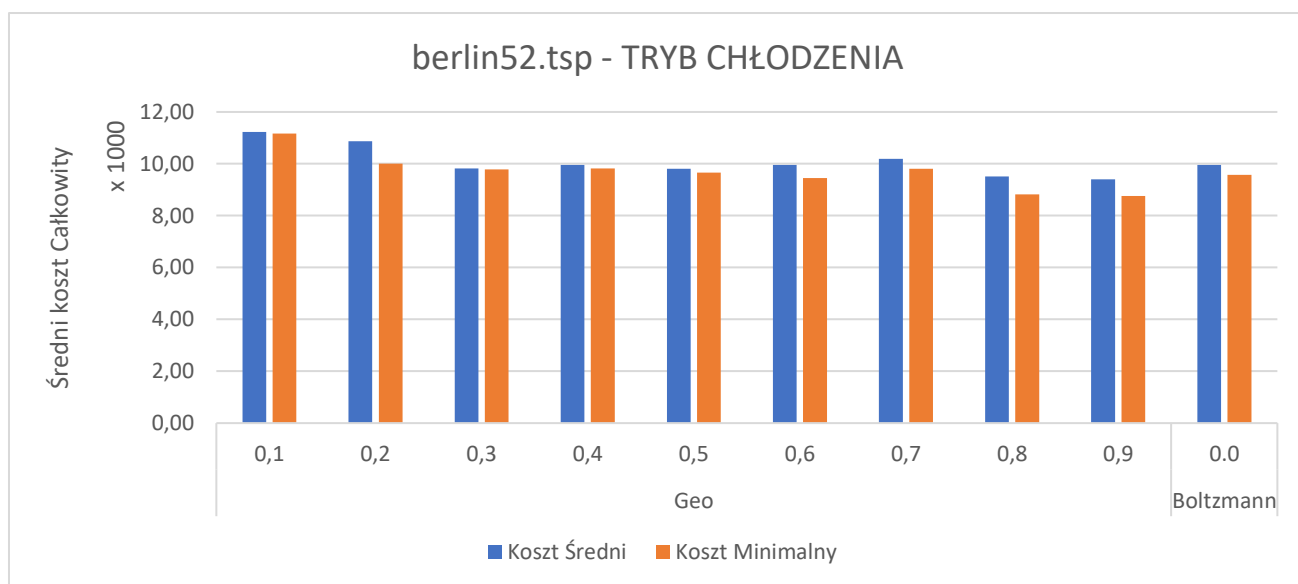
| | | | | | |
|-------------|-----|------------------|----------|----------|----------|
| | | 0,9 | 9395,40 | 8755,00 | 7542,00 |
| | | Boltzmann | 9950,74 | 9571,00 | 7542,00 |
| eil76.tsp | Geo | 0,1 | 886,39 | 884,00 | 538,00 |
| | | 0,2 | 805,42 | 774,00 | 538,00 |
| | | 0,3 | 779,78 | 758,00 | 538,00 |
| | | 0,4 | 748,53 | 717,00 | 538,00 |
| | | 0,5 | 737,25 | 705,00 | 538,00 |
| | | 0,6 | 722,20 | 673,00 | 538,00 |
| | | 0,7 | 739,65 | 706,00 | 538,00 |
| | | 0,8 | 695,65 | 642,00 | 538,00 |
| | | 0,9 | 682,86 | 640,00 | 538,00 |
| | | Boltzmann | 739,39 | 687,00 | 538,00 |
| korA100.tsp | Geo | 0,1 | 39457,52 | 36612,00 | 21282,00 |
| | | 0,2 | 40081,56 | 38060,00 | 21282,00 |
| | | 0,3 | 38340,09 | 36191,00 | 21282,00 |
| | | 0,4 | 38194,53 | 35720,00 | 21282,00 |
| | | 0,5 | 37406,43 | 34519,00 | 21282,00 |
| | | 0,6 | 36649,92 | 32850,00 | 21282,00 |
| | | 0,7 | 36371,56 | 31197,00 | 21282,00 |
| | | 0,8 | 34338,28 | 29531,00 | 21282,00 |
| | | 0,9 | 32190,68 | 26986,00 | 21282,00 |
| | | Boltzmann | 35297,50 | 30568,00 | 21282,00 |
| brg180.tsp | Geo | 0,1 | 5162,75 | 4150,00 | 1950,00 |
| | | 0,2 | 4869,70 | 4060,00 | 1950,00 |
| | | 0,3 | 4158,85 | 3840,00 | 1950,00 |
| | | 0,4 | 4022,95 | 3660,00 | 1950,00 |
| | | 0,5 | 3749,15 | 3510,00 | 1950,00 |
| | | 0,6 | 3621,80 | 3360,00 | 1950,00 |
| | | 0,7 | 3480,15 | 3240,00 | 1950,00 |
| | | 0,8 | 3337,90 | 3060,00 | 1950,00 |
| | | 0,9 | 3227,00 | 2900,00 | 1950,00 |
| | | Boltzmann | 3860,20 | 3630,00 | 1950,00 |

Tabela 9 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów wyboru sposobu chłodzenia instancji TSP.

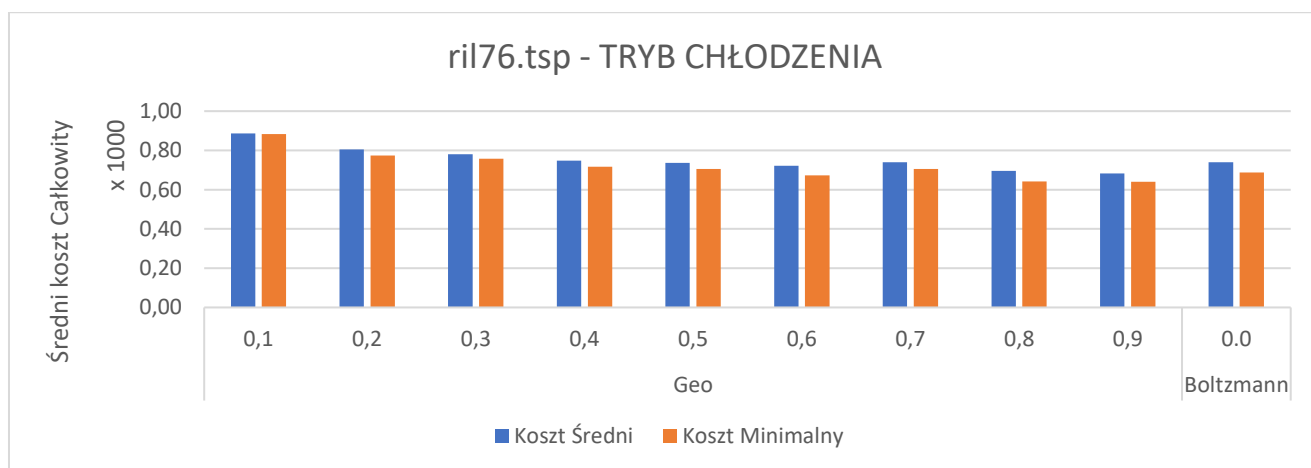
| Nazwa pliku | Tryb Chłodzenia | Współczynnik alfa | Średnia liczba stopni |
|--------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| berlin52.tsp | Geo | 0,1 | 4,00 |
| | | 0,2 | 5,00 |
| | | 0,3 | 7,00 |
| | | 0,4 | 9,00 |
| | | 0,5 | 11,00 |
| | | 0,6 | 15,00 |

| | | | |
|-------------|-----|------------------|-------|
| | | 0,7 | 21,00 |
| | | 0,8 | 34,00 |
| | | 0,9 | 71,00 |
| | | Boltzmann | 12,00 |
| eil76.tsp | Geo | 0,1 | 2,00 |
| | | 0,2 | 3,00 |
| | | 0,3 | 4,00 |
| | | 0,4 | 5,00 |
| | | 0,5 | 7,00 |
| | | 0,6 | 9,00 |
| | | 0,7 | 13,00 |
| | | 0,8 | 20,00 |
| | | 0,9 | 42,00 |
| | | Boltzmann | 8,00 |
| korA100.tsp | Geo | 0,1 | 4,00 |
| | | 0,2 | 6,00 |
| | | 0,3 | 7,00 |
| | | 0,4 | 10,00 |
| | | 0,5 | 13,00 |
| | | 0,6 | 17,00 |
| | | 0,7 | 24,00 |
| | | 0,8 | 38,00 |
| | | 0,9 | 80,00 |
| | | Boltzmann | 13,00 |
| brg180.tsp | Geo | 0,1 | 5,00 |
| | | 0,2 | 6,00 |
| | | 0,3 | 8,00 |
| | | 0,4 | 11,00 |
| | | 0,5 | 14,00 |
| | | 0,6 | 19,00 |
| | | 0,7 | 26,00 |
| | | 0,8 | 42,00 |
| | | 0,9 | 88,00 |
| | | Boltzmann | 14,00 |

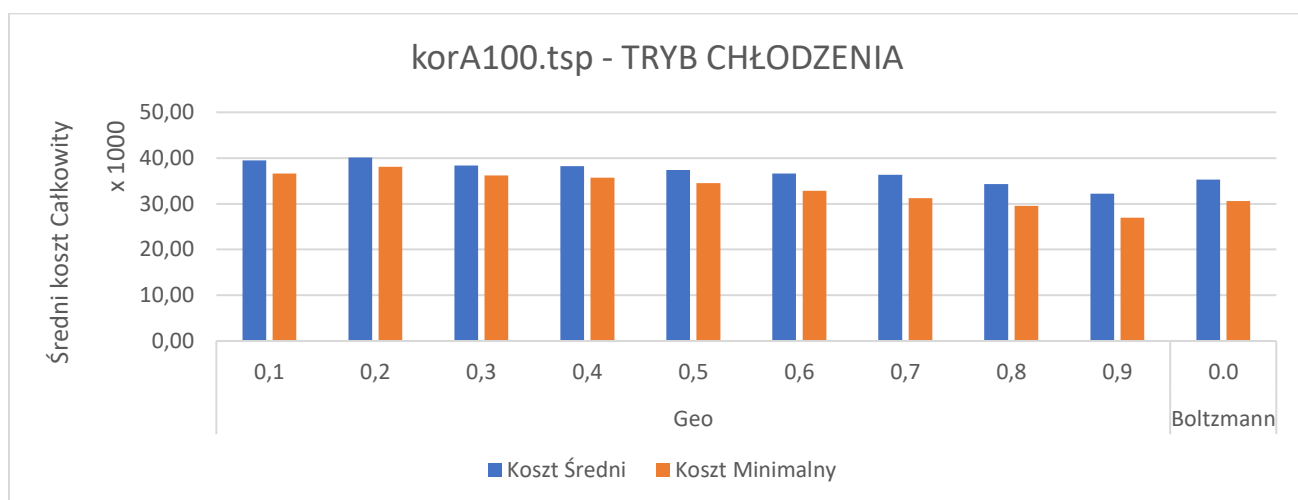
Tabela 10 – Wartości średnia liczny stopni dla testów wyboru sposobu chłodzenia instancji TSP.



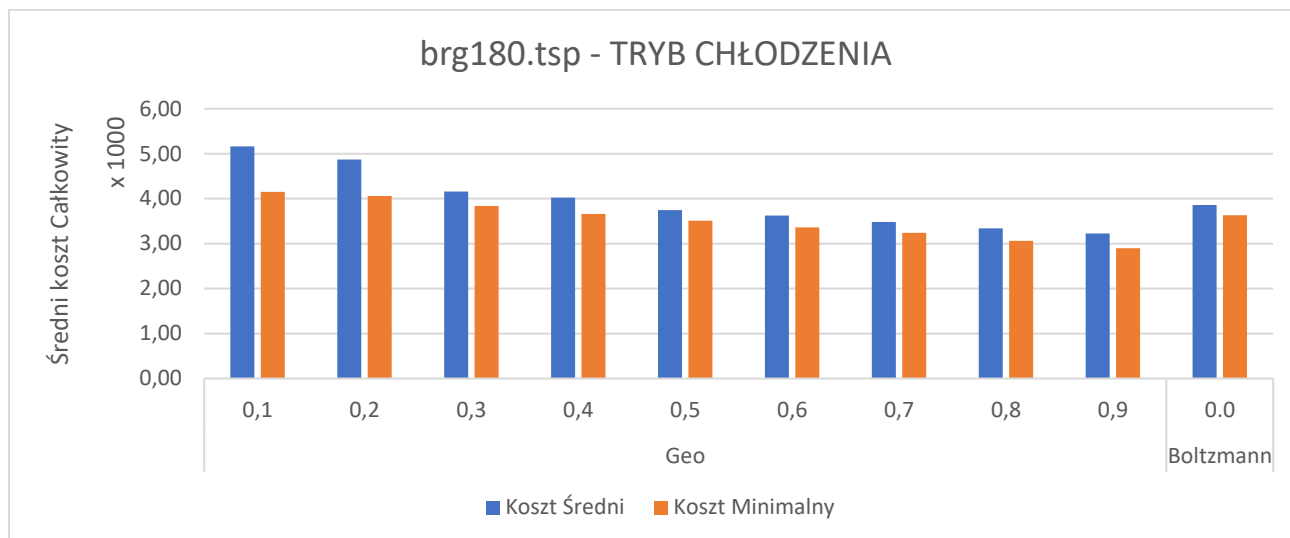
Wykres 15 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji TSP.



Wykres 16 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji TSP.



Wykres 17 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji TSP.

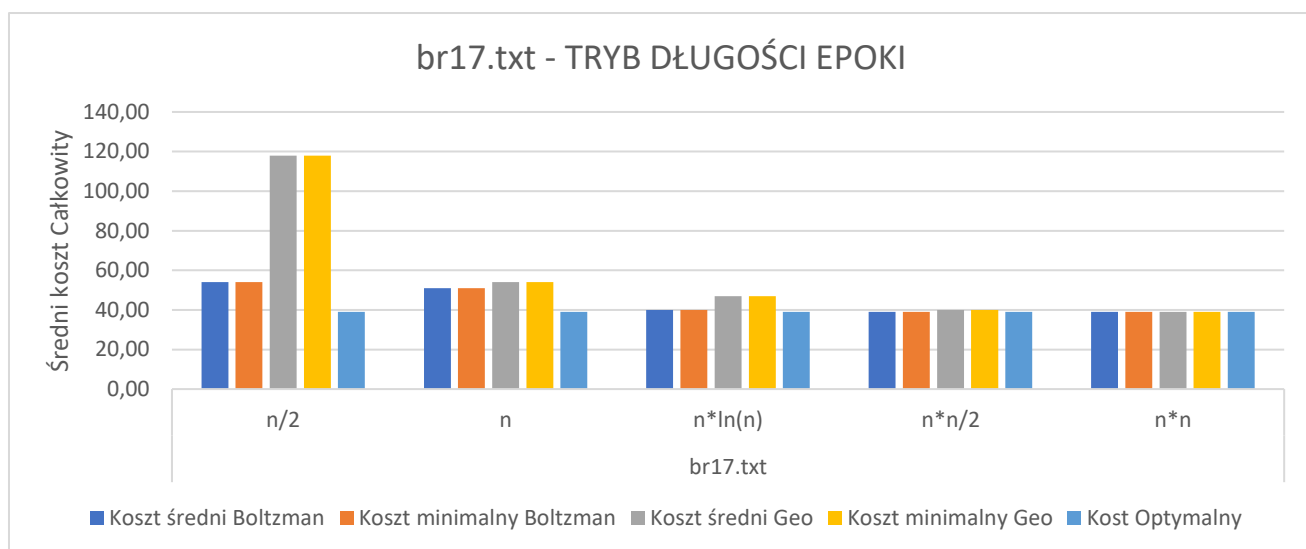


Wykres 18 – Średni i minimalny koszt w zależności od sposobu chłodzenia i rodzaju instancji TSP.

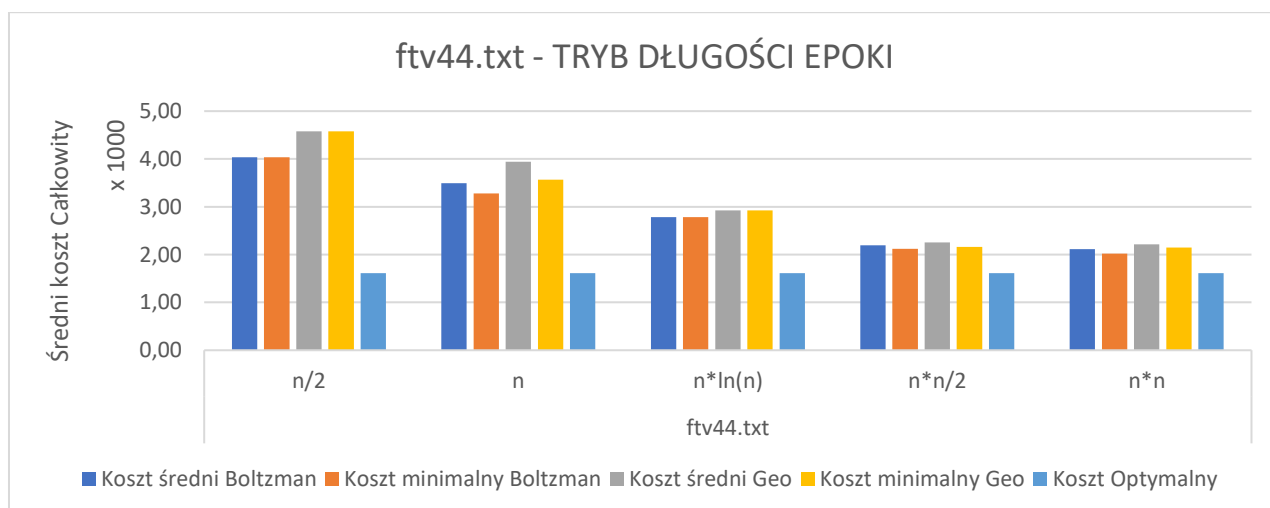
4. Pomiar parametru długości epoki:

| Nazwa pliku | Tryb długości epoki | Boltzmanna | | Geo | | Wartość optymalna | Przybliżona długość epoki |
|-------------|---------------------|------------|----------|----------|----------|-------------------|---------------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | | |
| br17.txt | n/2 | 54,00 | 54,00 | 118,00 | 118,00 | 39,00 | 9 |
| | n | 51,00 | 51,00 | 54,00 | 54,00 | 39,00 | 17 |
| | n*ln(n) | 40,00 | 40,00 | 47,00 | 47,00 | 39,00 | 48 |
| | n*n/2 | 39,00 | 39,00 | 40,00 | 40,00 | 39,00 | 145 |
| | n*n | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 289 |
| ftv44.txt | n/2 | 4038,00 | 4038,00 | 4575,00 | 4575,00 | 1613,00 | 22 |
| | n | 3490,27 | 3278,00 | 3944,40 | 3570,00 | 1613,00 | 44 |
| | n*ln(n) | 2785,00 | 2785,00 | 2925,00 | 2925,00 | 1613,00 | 167 |
| | n*n/2 | 2192,83 | 2121,00 | 2257,57 | 2163,00 | 1613,00 | 968 |
| | n*n | 2113,83 | 2018,00 | 2216,70 | 2149,00 | 1613,00 | 1936 |
| ftv70.txt | n/2 | 5918,00 | 5918,00 | 6456,00 | 6456,00 | 1950,00 | 35 |
| | n | 5517,00 | 5517,00 | 5642,00 | 5642,00 | 1950,00 | 70 |
| | n*ln(n) | 4038,36 | 4035,00 | 4165,44 | 4143,00 | 1950,00 | 297 |
| | n*n/2 | 3042,52 | 2846,00 | 3099,68 | 2740,00 | 1950,00 | 2450 |
| | n*n | 2871,83 | 2591,00 | 3038,40 | 2647,00 | 1950,00 | 4900 |
| ftv170.txt | n/2 | 14660,60 | 14256,00 | 16639,08 | 16490,00 | 2755,00 | 85 |
| | n | 12868,92 | 12733,00 | 15036,81 | 14842,00 | 2755,00 | 170 |
| | n*ln(n) | 9305,96 | 9117,00 | 10880,29 | 10831,00 | 2755,00 | 873 |
| | n*n/2 | 5810,25 | 5261,00 | 6364,06 | 5608,00 | 2755,00 | 14450 |
| | n*n | 5400,83 | 4587,00 | 5830,67 | 4938,00 | 2755,00 | 28900 |

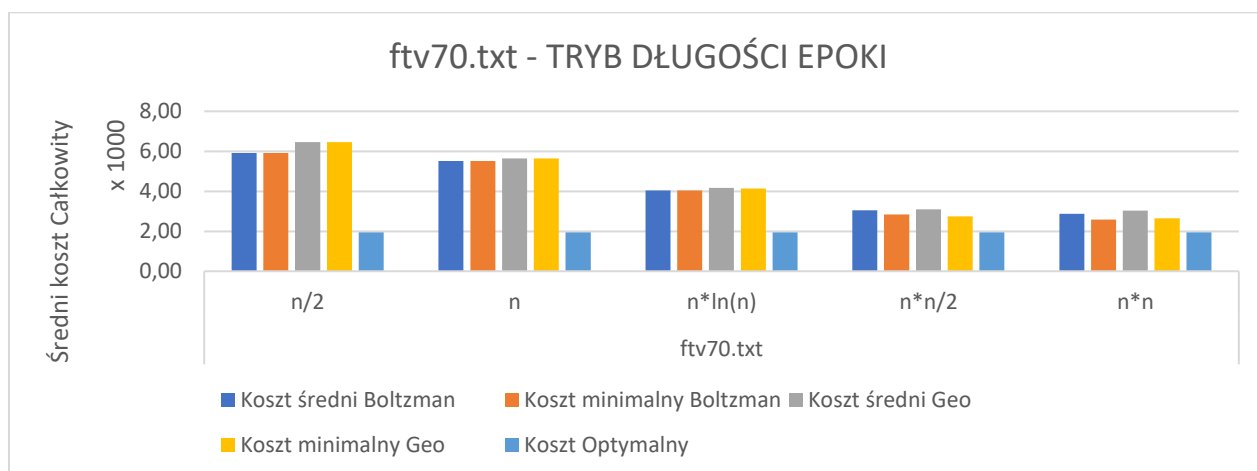
Tabela 11 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia oraz długość epoki dla testów długości epoki instancji ATSP.



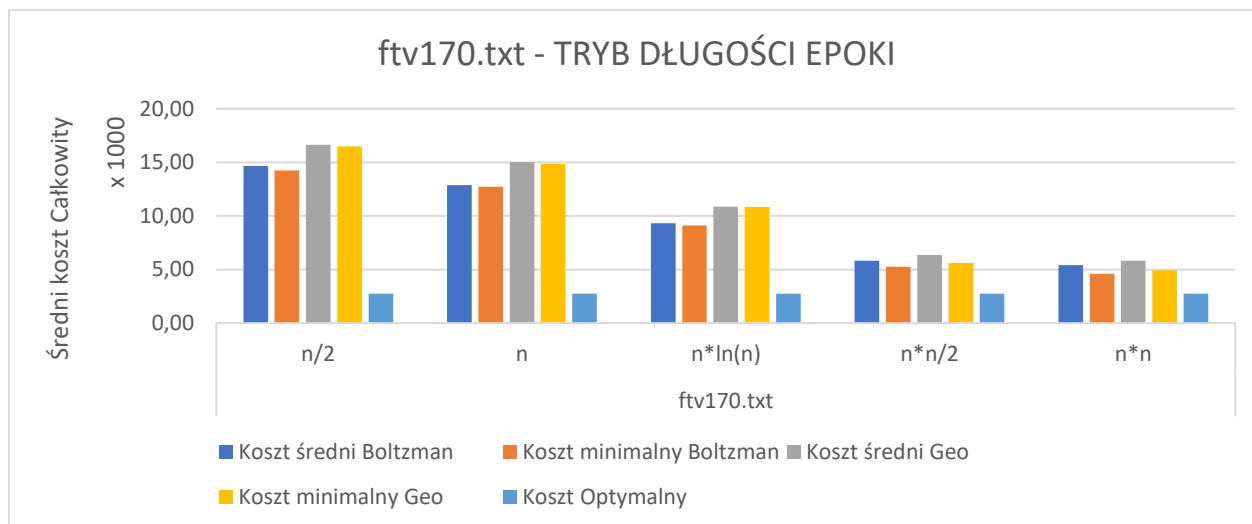
Wykres 19 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji ATSP.



Wykres 20 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji ATSP.



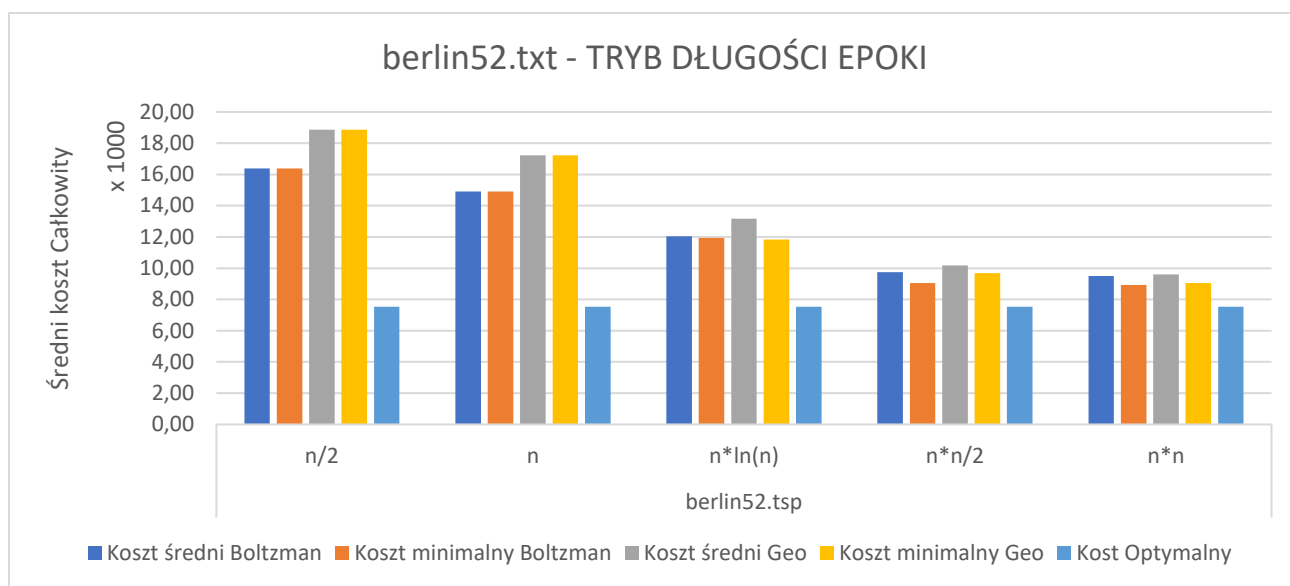
Wykres 21 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji ATSP.



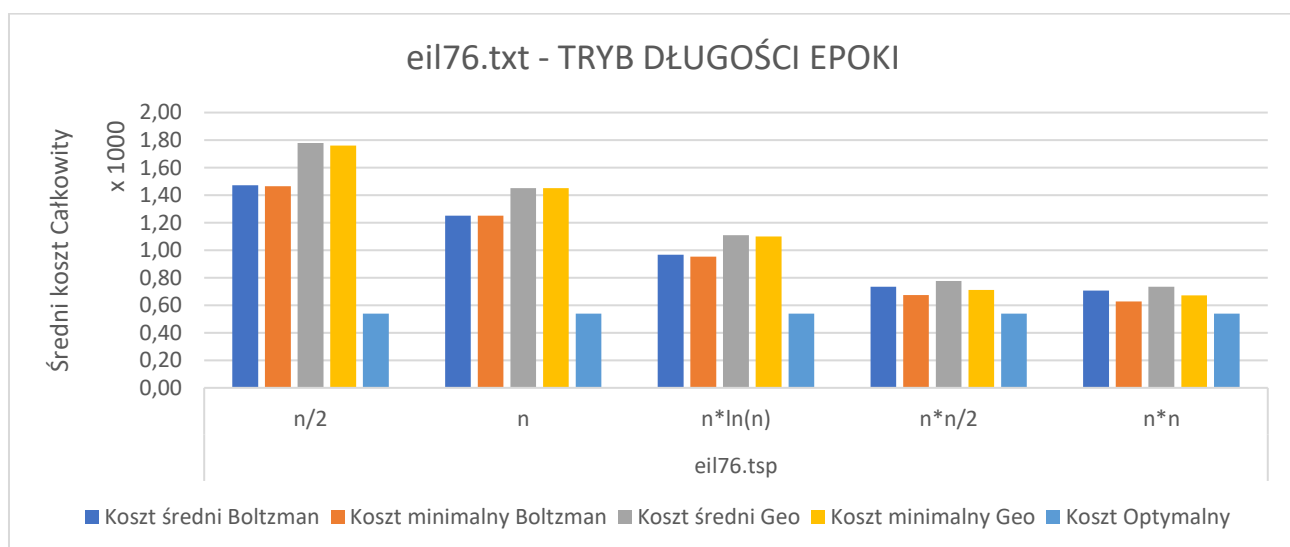
Wykres 22 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji ATSP.

| Nazwa pliku | Tryb długości epoki | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna | Przybliżona długość epoki |
|--------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | | |
| berlin52.tsp | n/2 | 16393,00 | 16393,00 | 18865,00 | 18865,00 | 7542,00 | 26 |
| | n | 14914,00 | 14914,00 | 17219,00 | 17219,00 | 7542,00 | 52 |
| | n*ln(n) | 12045,35 | 11945,00 | 13159,81 | 11831,00 | 7542,00 | 205 |
| | n*n/2 | 9736,16 | 9054,00 | 10171,72 | 9684,00 | 7542,00 | 1352 |
| | n*n | 9497,60 | 8934,00 | 9601,94 | 9045,00 | 7542,00 | 2704 |
| eil76.tsp | n/2 | 1471,67 | 1466,00 | 1779,54 | 1761,00 | 538,00 | 38 |
| | n | 1252,00 | 1252,00 | 1452,00 | 1452,00 | 538,00 | 76 |
| | n*ln(n) | 966,98 | 953,00 | 1110,13 | 1100,00 | 538,00 | 329 |
| | n*n/2 | 733,94 | 674,00 | 776,35 | 712,00 | 538,00 | 2888 |
| | n*n | 706,97 | 628,00 | 734,09 | 671,00 | 538,00 | 5776 |
| korA100.tsp | n/2 | 83005,20 | 82176,00 | 99807,40 | 97093,00 | 21282,00 | 50 |
| | n | 73043,00 | 73043,00 | 82963,00 | 82963,00 | 21282,00 | 100 |
| | n*ln(n) | 50226,64 | 47993,00 | 56307,04 | 52866,00 | 21282,00 | 461 |
| | n*n/2 | 36598,56 | 32729,00 | 38903,61 | 32603,00 | 21282,00 | 5000 |
| | n*n | 33604,50 | 28902,00 | 37124,51 | 28563,00 | 21282,00 | 10000 |
| brg180.tsp | n/2 | 229384,40 | 226100,00 | 306423,60 | 281820,00 | 1950,00 | 90 |
| | n | 173518,15 | 157980,00 | 219793,10 | 197960,00 | 1950,00 | 180 |
| | n*ln(n) | 54725,50 | 46670,00 | 85981,95 | 64000,00 | 1950,00 | 935 |
| | n*n/2 | 3838,50 | 3490,00 | 4108,45 | 3750,00 | 1950,00 | 16200 |
| | n*n | 3531,70 | 3190,00 | 3733,60 | 3400,00 | 1950,00 | 32400 |

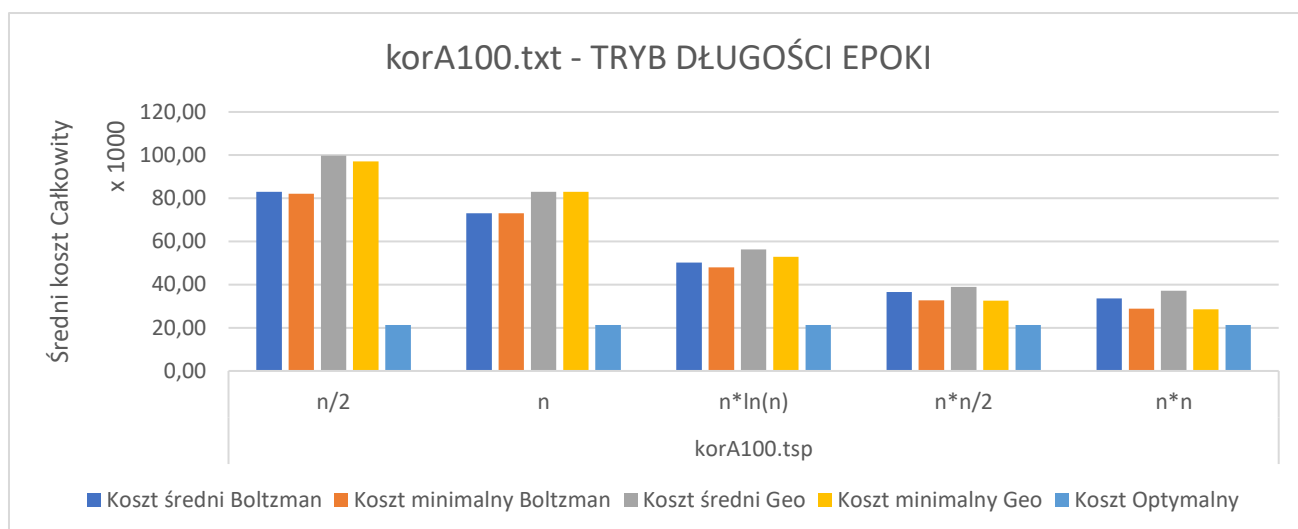
Tabela 12 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia oraz długość epoki dla testów długości epoki instancji TSP.



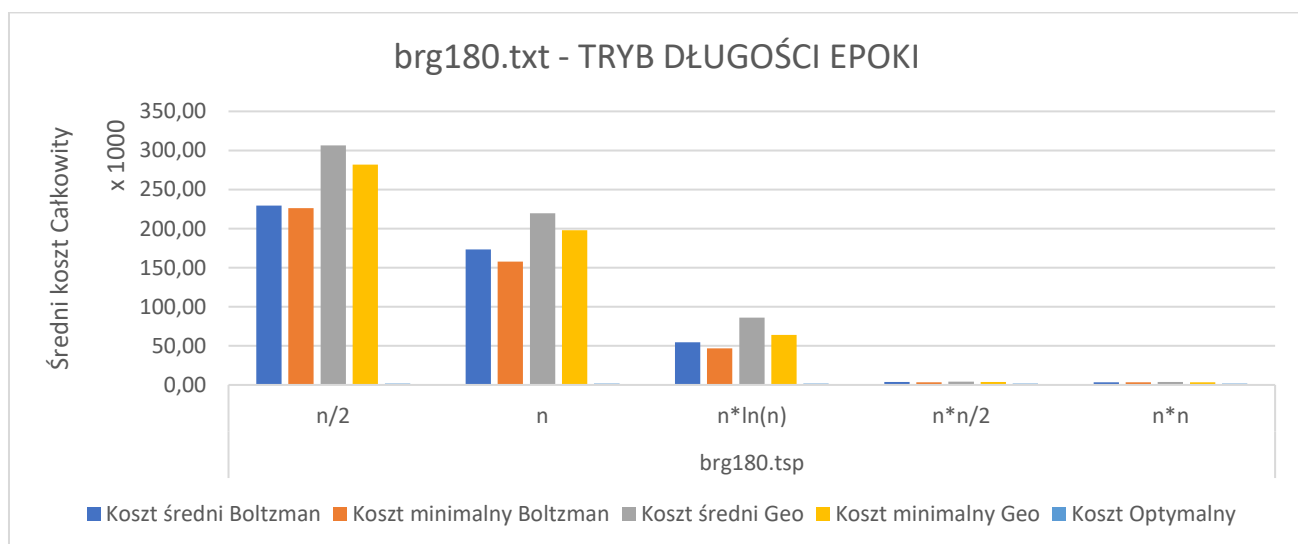
Wykres 23 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji TSP.



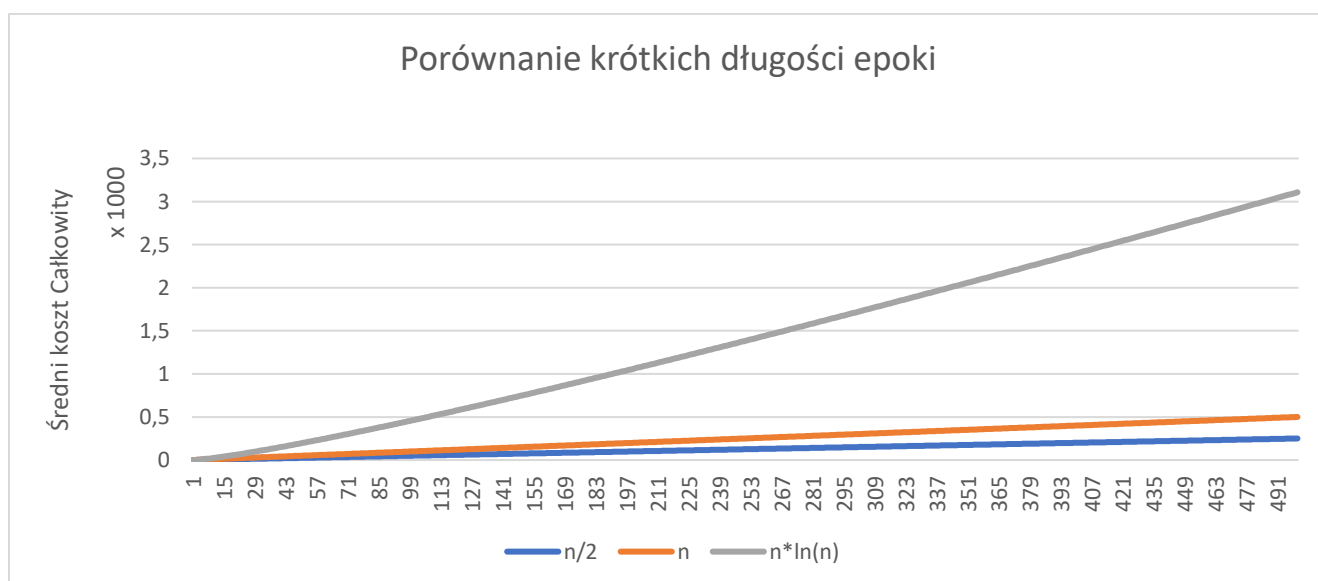
Wykres 24 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji TSP.



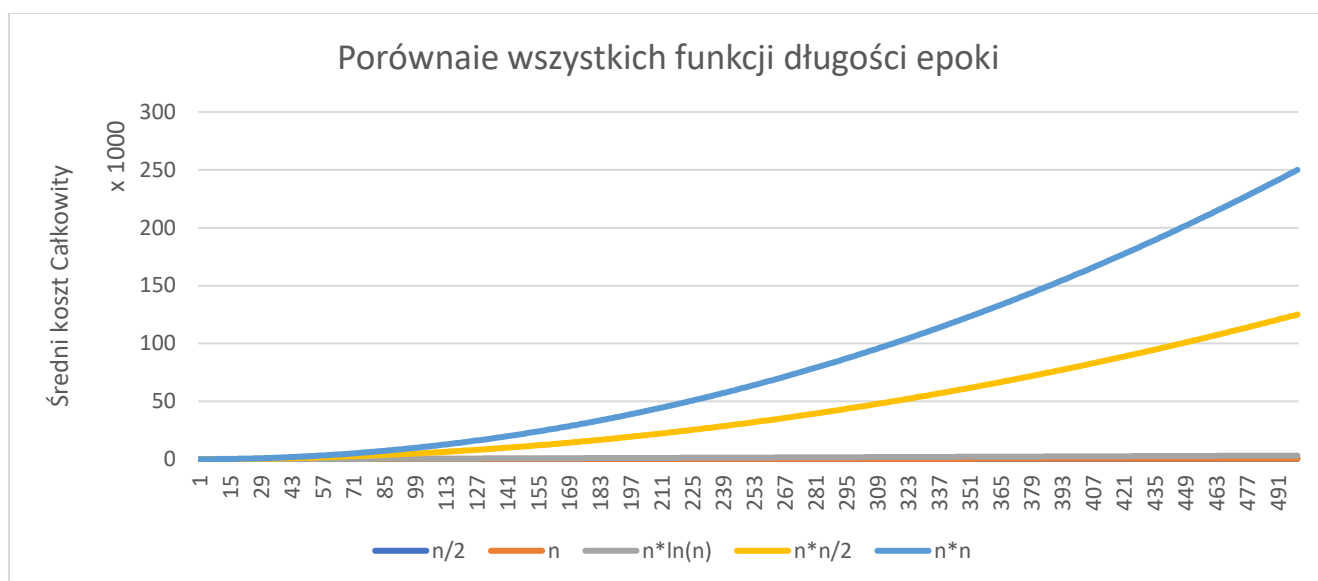
Wykres 25 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji TSP.



Wykres 26 – Średni i minimalny koszt w zależności od długości epoki i rodzaju instancji TSP.



Wykres 27 – Porównanie krótkich długości epok.



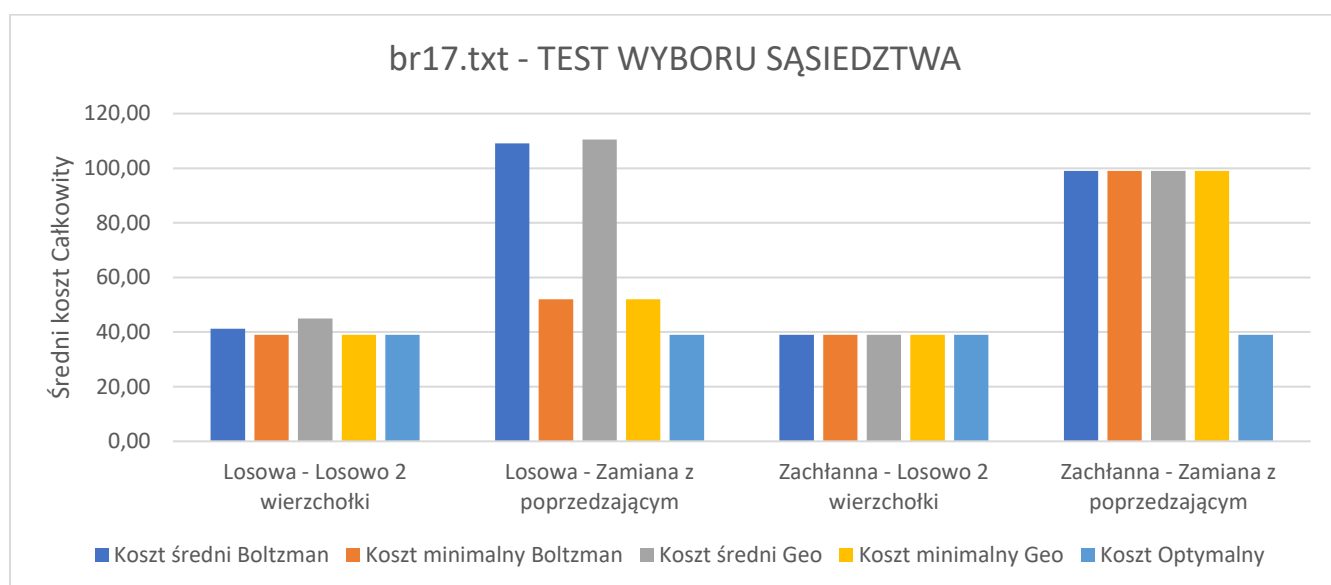
Wykres 28 – Porównanie wszystkich długości epok.

5. Pomiar parametru wyboru sąsiedztwa:

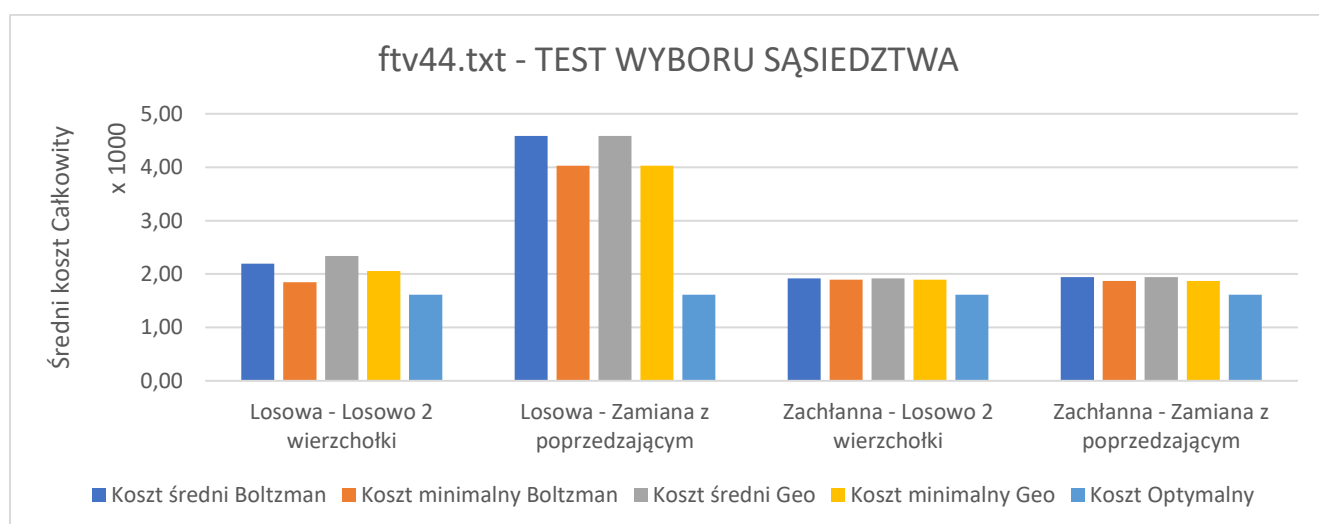
| Nazwa pliku | Tryb Generowania ścieżki | Tryb wyboru sąsiedztwa | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|-------------|--------------------------|--------------------------|-----------|---------|---------|---------|-------------------|
| | | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| br17.txt | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 41,19 | 39,00 | 44,98 | 39,00 | 39,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 109,14 | 52,00 | 110,55 | 52,00 | 39,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 39,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 99,00 | 99,00 | 99,00 | 99,00 | 39,00 |
| ftv44.txt | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 2195,65 | 1849,00 | 2338,29 | 2054,00 | 1613,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 4586,66 | 4028,00 | 4586,82 | 4028,00 | 1613,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 1915,31 | 1892,00 | 1919,32 | 1892,00 | 1613,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 1943,29 | 1873,00 | 1943,29 | 1873,00 | 1613,00 |
| ftv70.txt | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 2941,10 | 2525,00 | 3203,19 | 2614,00 | 1950,00 |

| | | | | | | | |
|------------|-----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| ftv170.txt | Zachłanna | Zamiana z poprzedzającym | 7287,04 | 6481,00 | 7289,45 | 6481,00 | 1950,00 |
| | | Losowo 2 wierzchołki | 2381,08 | 2300,00 | 2404,98 | 2307,00 | 1950,00 |
| | Losowa | Zamiana z poprzedzającym | 2395,35 | 2327,00 | 2395,35 | 2327,00 | 1950,00 |
| | | Losowo 2 wierzchołki | 5603,70 | 4887,00 | 6415,61 | 5569,00 | 2755,00 |
| | Zachłanna | Zamiana z poprzedzającym | 19428,23 | 17887,00 | 19429,85 | 17887,00 | 2755,00 |
| | | Losowo 2 wierzchołki | 3689,74 | 3428,00 | 3733,76 | 3382,00 | 2755,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 3980,26 | 3538,00 | 3974,76 | 3538,00 | 2755,00 |

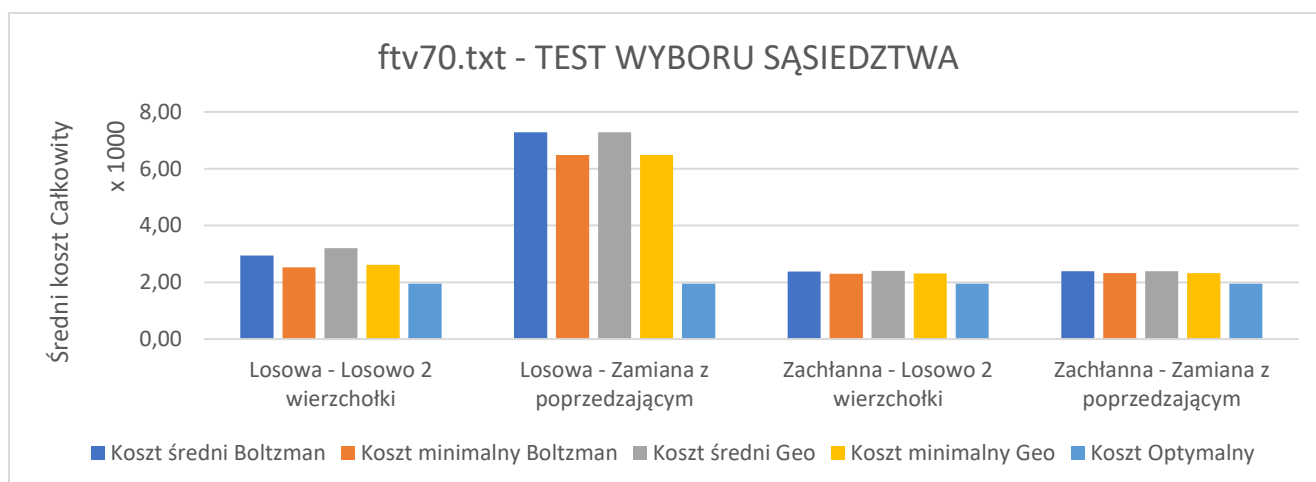
Tabela 13 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów długości epoki instancji ATSP.



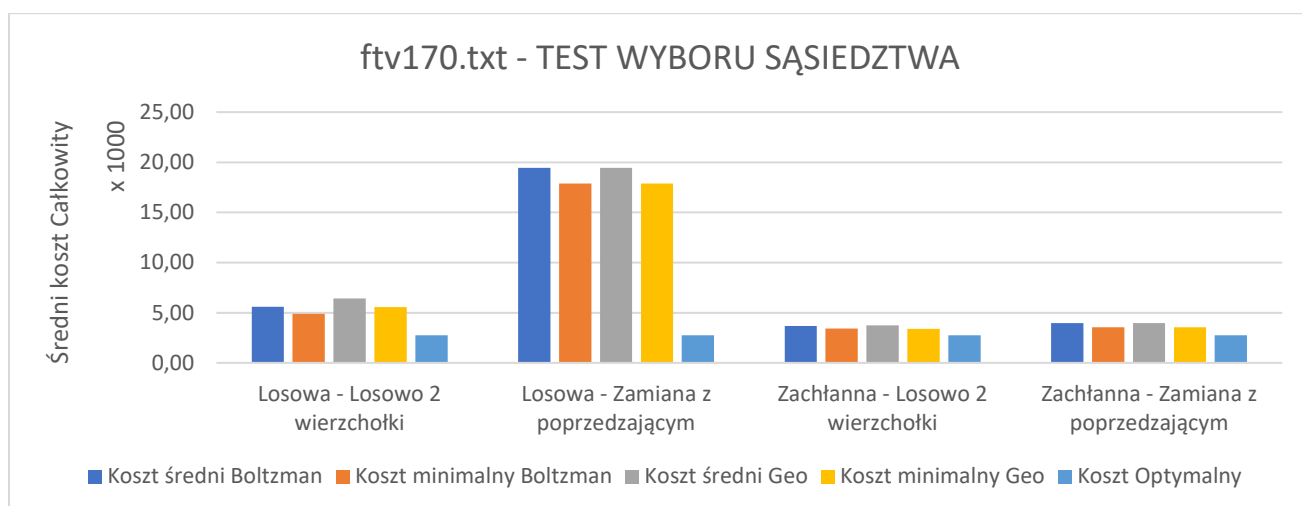
Wykres 29 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji ATSP



Wykres 30 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji ATSP



Wykres 31 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji ATSP

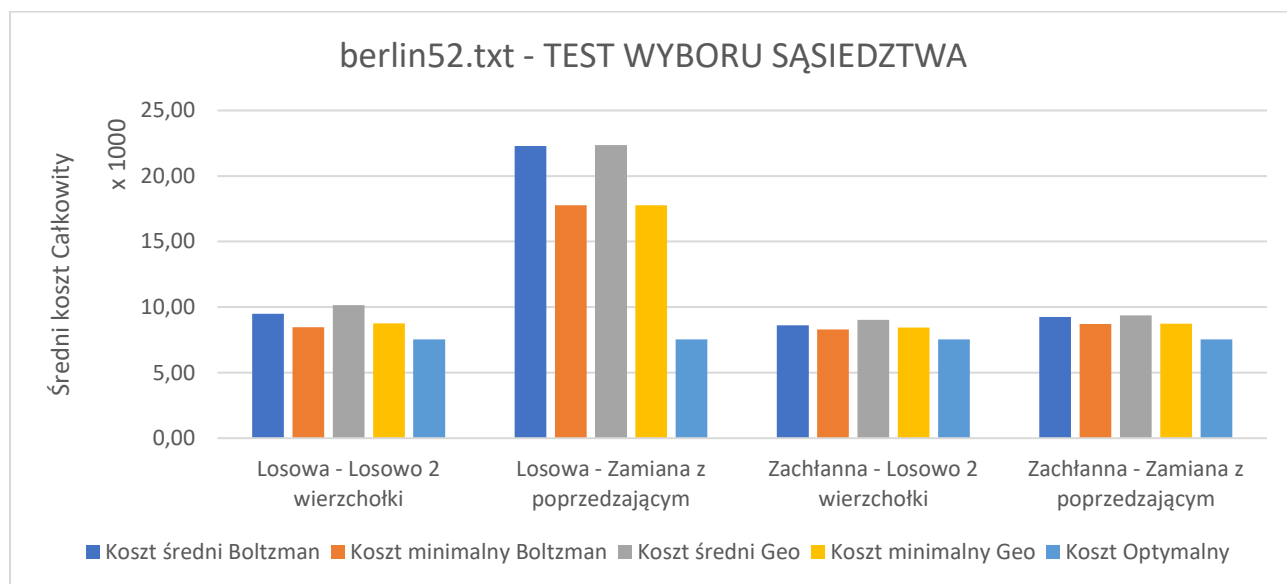


Wykres 32 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji ATSP

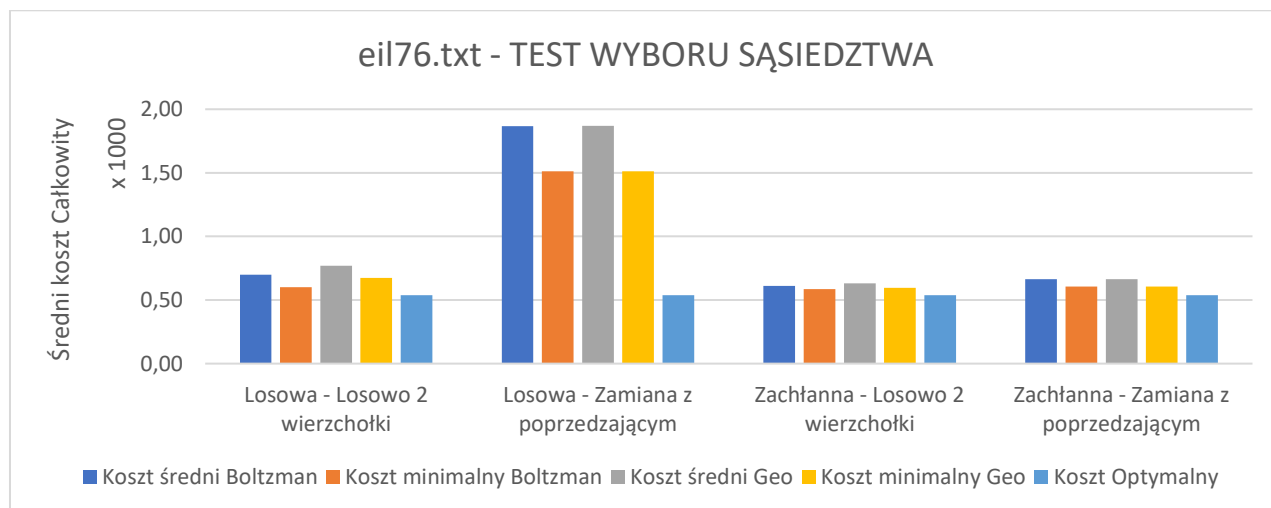
| Nazwa pliku | Tryb Generowania ścieżki | Tryb wyboru sąsiedztwa | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| | | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| berlin52.tsp | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 9482,07 | 8458,00 | 10146,76 | 8749,00 | 7542,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 22292,96 | 17782,00 | 22350,96 | 17782,00 | 7542,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 8610,11 | 8294,00 | 9017,55 | 8447,00 | 7542,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 9247,75 | 8702,00 | 9369,31 | 8740,00 | 7542,00 |
| eil76.tsp | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 698,14 | 600,00 | 768,86 | 675,00 | 538,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 1867,83 | 1513,00 | 1868,68 | 1513,00 | 538,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 610,09 | 585,00 | 632,08 | 597,00 | 538,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 662,88 | 605,00 | 664,86 | 605,00 | 538,00 |
| korA100.tsp | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 34384,82 | 28122,00 | 39000,71 | 31744,00 | 21282,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 120483,34 | 101846,00 | 120517,77 | 101846,00 | 21282,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 24140,24 | 22565,00 | 24415,00 | 22648,00 | 21282,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 25074,52 | 23897,00 | 25591,07 | 24380,00 | 21282,00 |

| | | | | | | | |
|------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| brg180.tsp | Losowa | Losowo 2 wierzchołki | 3828,75 | 3530,00 | 4213,05 | 3720,00 | 1950,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 450283,60 | 345930,00 | 450283,65 | 345930,00 | 1950,00 |
| | Zachłanna | Losowo 2 wierzchołki | 3813,30 | 3520,00 | 3927,95 | 3610,00 | 1950,00 |
| | | Zamiana z poprzedzającym | 14212,85 | 8910,00 | 14223,35 | 8950,00 | 1950,00 |

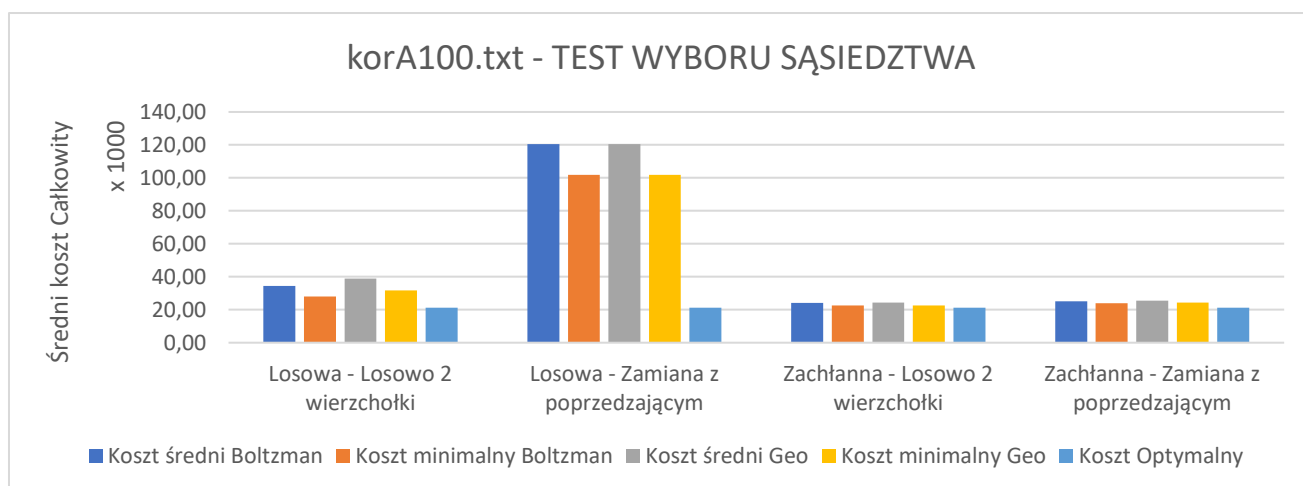
Tabela 14 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla testów długości epoki instancji TSP.



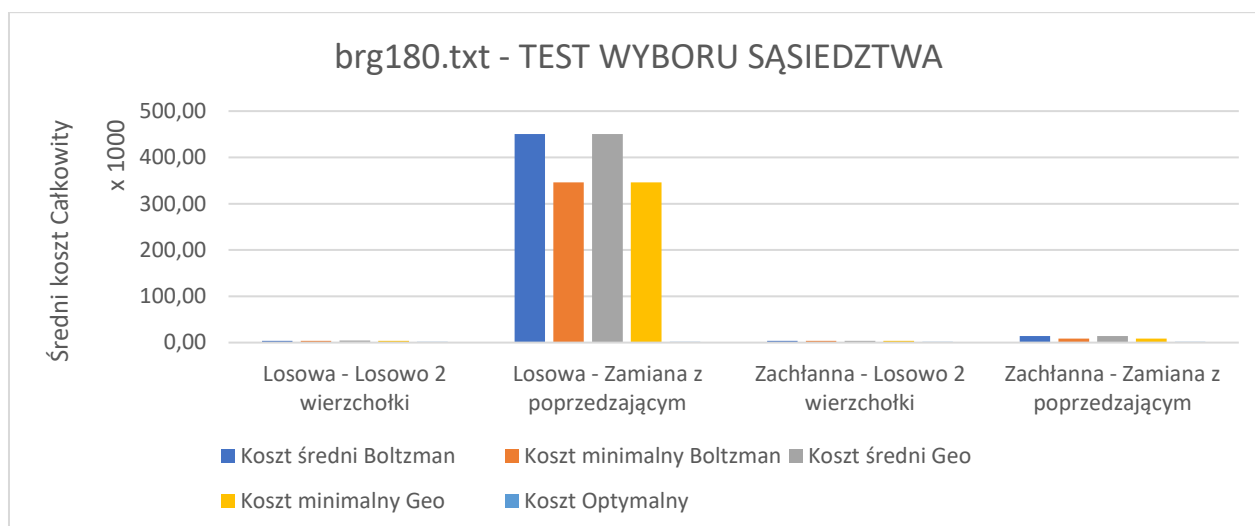
Wykres 33 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji TSP



Wykres 34 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji TSP



Wykres 35 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji TSP



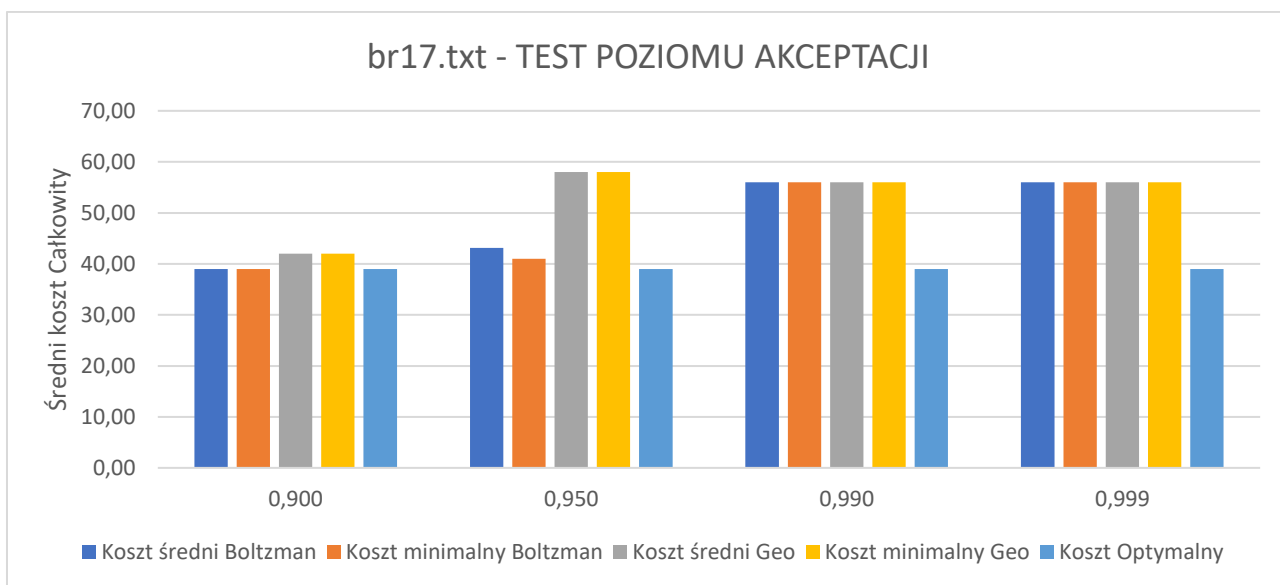
Wykres 36 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru sąsiedztwa i rodzaju instancji TSP

6. Pomiar parametru akceptacji pogorszenia wyniku:

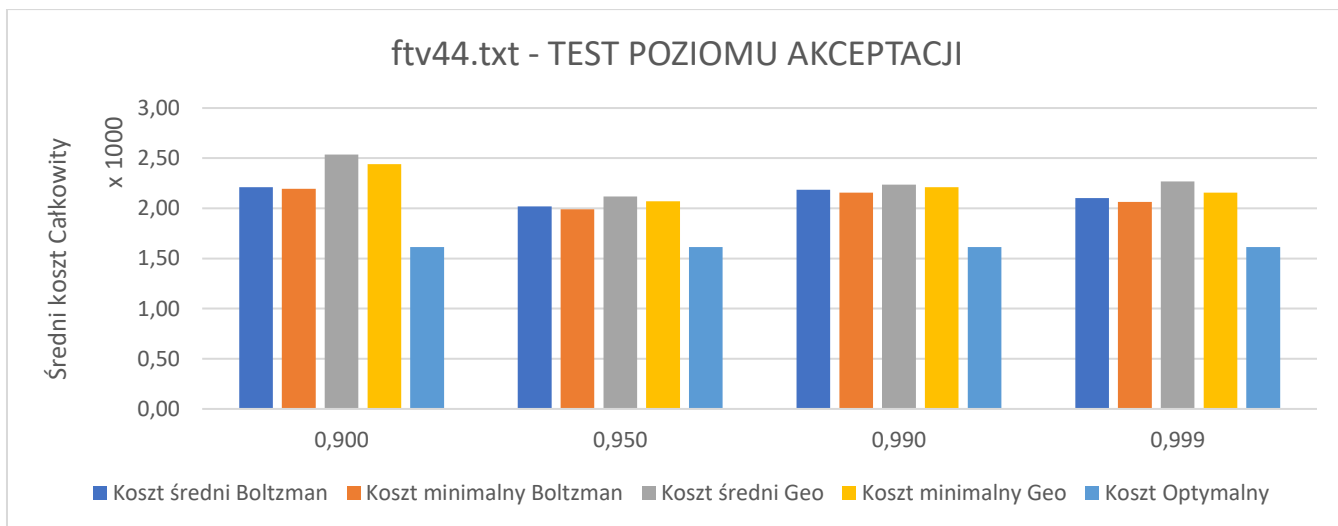
| Nazwa pliku | Poziom akceptacji | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|-------------|-------------------|-----------|---------|---------|---------|-------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| br17.txt | 90,0% | 39,00 | 39,00 | 42,00 | 42,00 | 39,00 |
| | 95,0% | 43,15 | 41,00 | 58,00 | 58,00 | 39,00 |
| | 99,0% | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 39,00 |
| | 99,9% | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 39,00 |
| ftv44.txt | 90,0% | 2210,58 | 2196,00 | 2535,15 | 2442,00 | 1613,00 |
| | 95,0% | 2019,96 | 1989,00 | 2119,22 | 2071,00 | 1613,00 |
| | 99,0% | 2186,08 | 2158,00 | 2235,11 | 2210,00 | 1613,00 |
| | 99,9% | 2100,78 | 2065,00 | 2266,83 | 2157,00 | 1613,00 |
| ftv70.txt | 90,0% | 2835,47 | 2681,00 | 3067,18 | 2973,00 | 1950,00 |
| | 95,0% | 3027,18 | 2904,00 | 3204,06 | 3010,00 | 1950,00 |

| | | | | | | |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 99,0% | 3157,31 | 3073,00 | 3313,26 | 3113,00 | 1950,00 |
| | 99,9% | 3077,80 | 2748,00 | 3241,50 | 2809,00 | 1950,00 |
| ftv170.txt | 90,0% | 5428,37 | 4904,00 | 6124,34 | 5507,00 | 2755,00 |
| | 95,0% | 5814,95 | 5166,00 | 6412,60 | 5281,00 | 2755,00 |
| | 99,0% | 6074,86 | 5290,00 | 6620,20 | 5500,00 | 2755,00 |
| | 99,9% | 6189,90 | 5192,00 | 6656,20 | 5735,00 | 2755,00 |

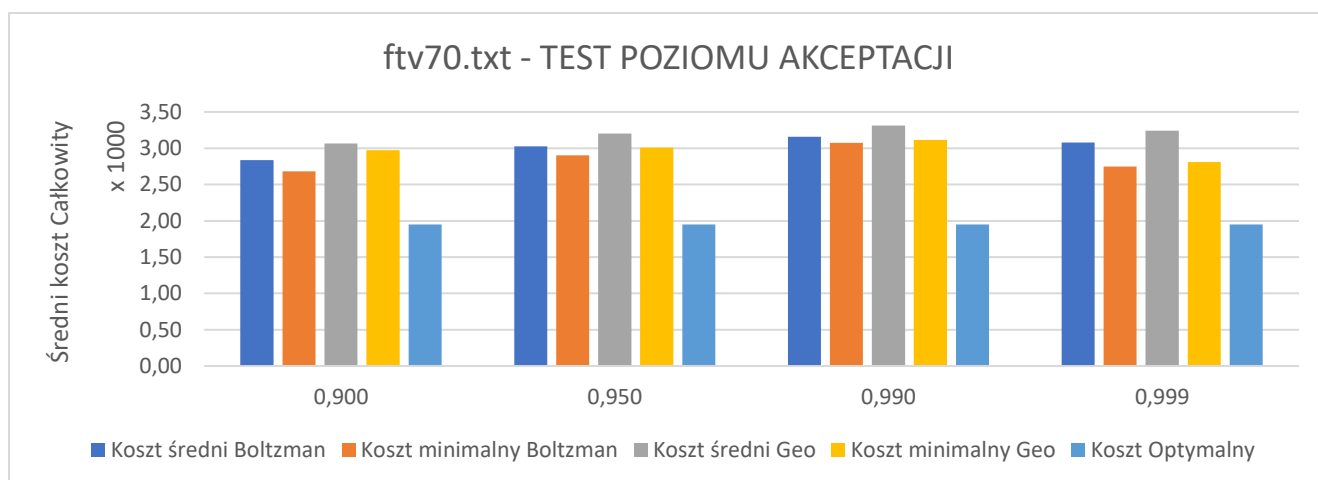
Tabela 15 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla poziomów akceptacji instancji ATSP.



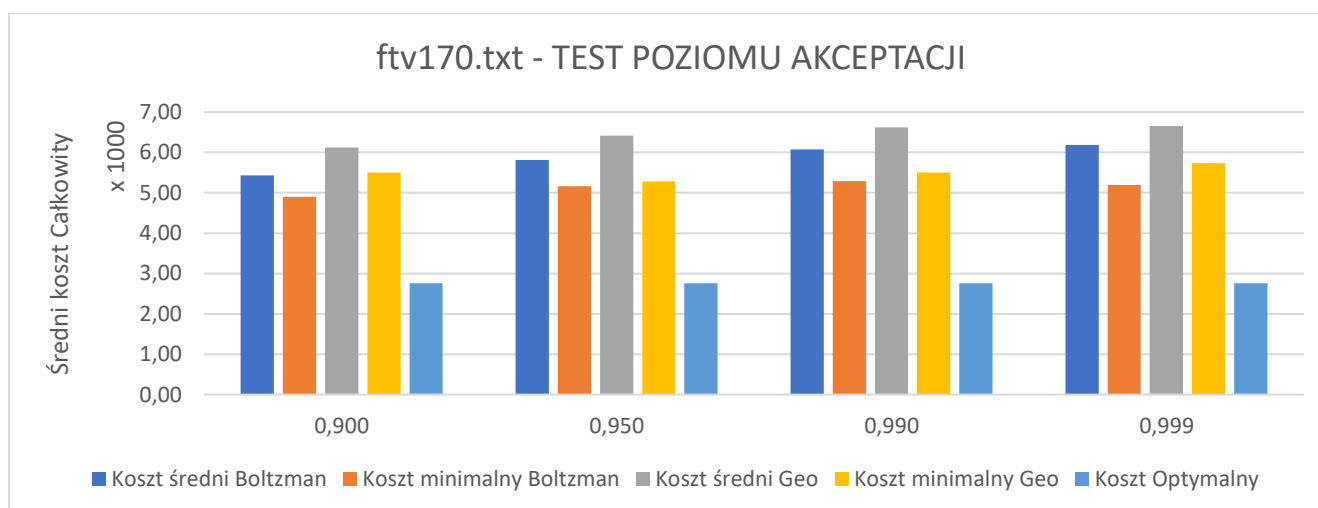
Wykres 37 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji ATSP



Wykres 38 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji ATSP



Wykres 39 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji ATSP

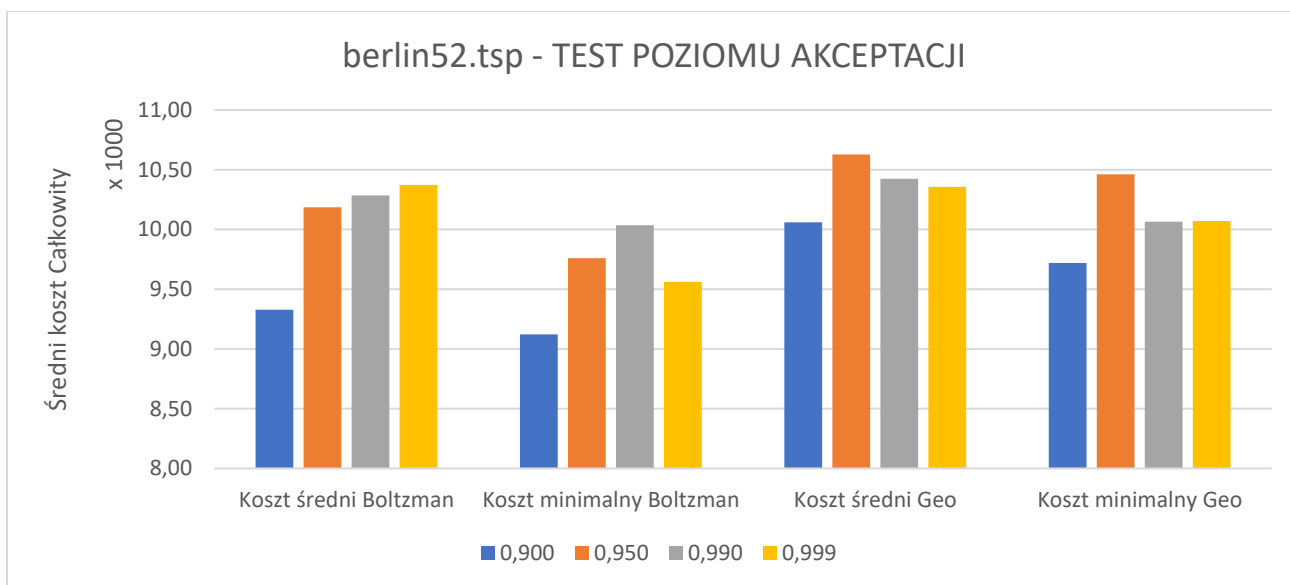


Wykres 40 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji ATSP

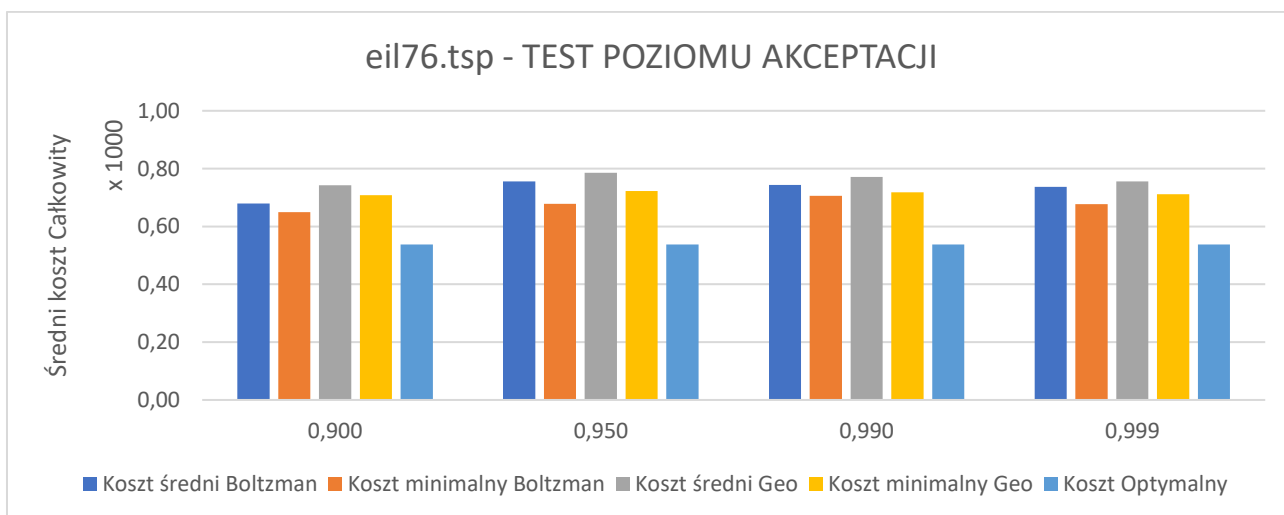
| Nazwa pliku | Poziom akceptacji | Boltzmann | | Geo | | Wartość optymalna |
|--------------|-------------------|-----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | | Średnia | Minimum | Średnia | Minimum | |
| berlin52.tsp | 90,0% | 9327,49 | 9121,00 | 10060,92 | 9720,00 | 7542,00 |
| | 95,0% | 10185,34 | 9759,00 | 10627,26 | 10463,00 | 7542,00 |
| | 99,0% | 10286,00 | 10035,00 | 10425,26 | 10066,00 | 7542,00 |
| | 99,9% | 10372,84 | 9561,00 | 10357,47 | 10072,00 | 7542,00 |
| eil76.tsp | 90,0% | 679,83 | 650,00 | 742,18 | 708,00 | 538,00 |
| | 95,0% | 755,35 | 678,00 | 786,07 | 723,00 | 538,00 |
| | 99,0% | 743,58 | 706,00 | 771,08 | 718,00 | 538,00 |
| | 99,9% | 736,51 | 677,00 | 755,81 | 712,00 | 538,00 |
| korA100.tsp | 90,0% | 32879,57 | 28214,00 | 36205,89 | 31214,00 | 21282,00 |
| | 95,0% | 36144,78 | 31164,00 | 39814,85 | 34031,00 | 21282,00 |
| | 99,0% | 39421,40 | 31338,00 | 41681,18 | 37973,00 | 21282,00 |
| | 99,9% | 41995,25 | 35681,00 | 42204,36 | 35078,00 | 21282,00 |

| | | | | | | |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| brg180.tsp | 90,0% | 3934,40 | 3690,00 | 4241,15 | 3770,00 | 1950,00 |
| | 95,0% | 3854,80 | 3580,00 | 4127,50 | 3740,00 | 1950,00 |
| | 99,0% | 3737,30 | 3400,00 | 4087,30 | 3660,00 | 1950,00 |
| | 99,9% | 3601,25 | 3290,00 | 4027,50 | 3580,00 | 1950,00 |

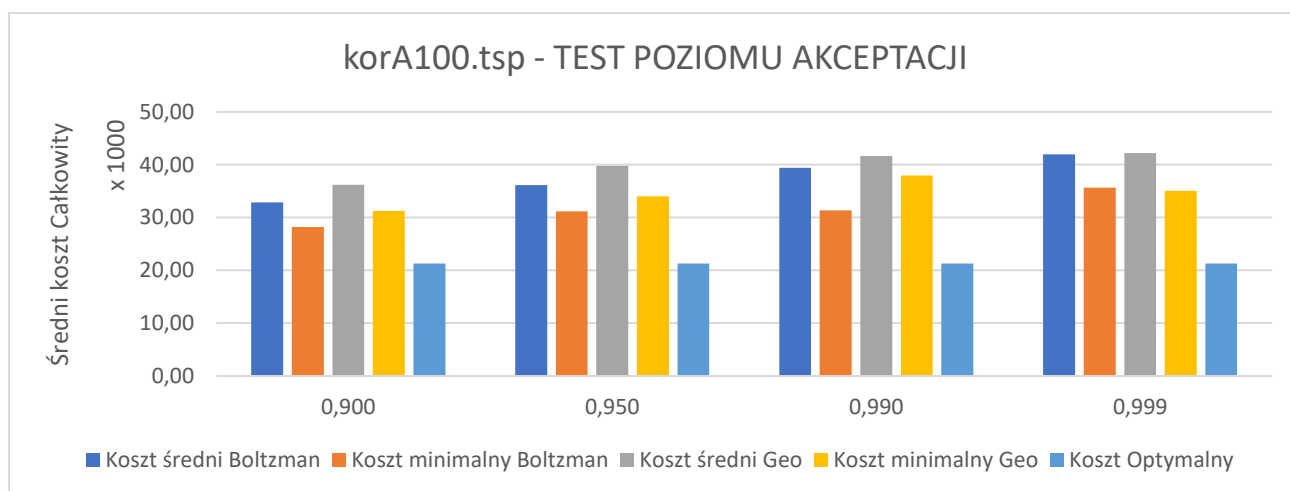
Tabela 16 – Wartości średnie i minimalne kosztów przejścia dla poziomów akceptacji instancji TSP.



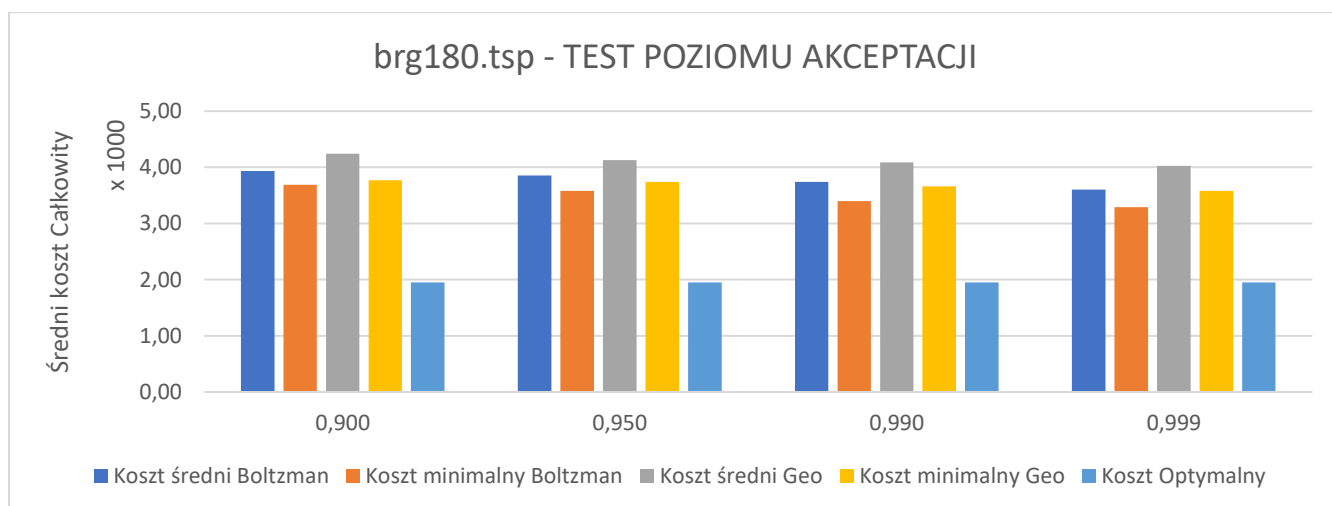
Wykres 41 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji TSP



Wykres 42 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji TSP



Wykres 43 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji TSP

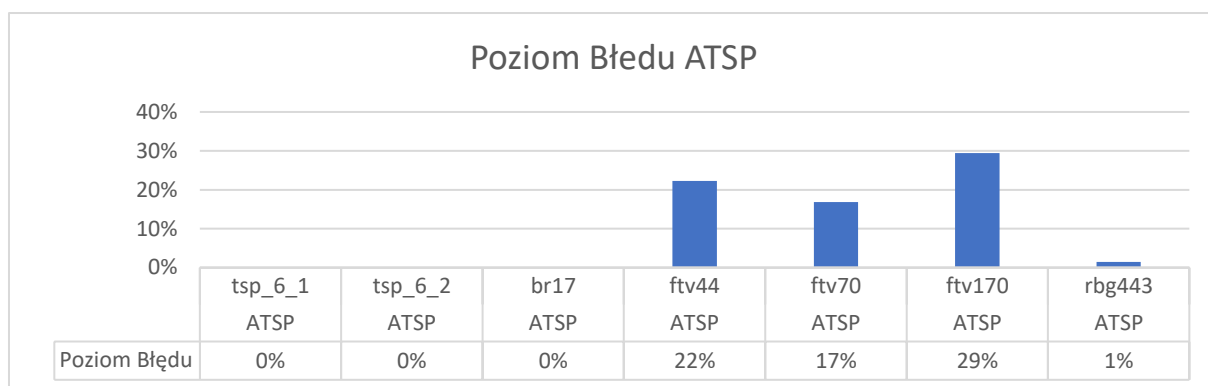


Wykres 44 – Średni i minimalny koszt w zależności od wyboru poziomu akceptacji pogorszenia wyniku i rodzaju instancji TSP

7. Porównanie jakości wyników i poziomów błęd

| ATSP | | | |
|-------------|----------------|------------------|--------------|
| Nazwa Pliku | Koszt uzyskany | Koszt oczekiwany | Poziom Błędu |
| tsp_6_1.txt | 132 | 132 | 0% |
| tsp_6_2.txt | 80 | 80 | 0% |
| br17.txt | 39 | 39 | 0% |
| ftv44.txt | 1973 | 1613 | 22% |
| ftv70.txt | 2279 | 1950 | 17% |
| ftv170.txt | 3565 | 2755 | 29% |
| rbg443.txt | 2760 | 2720 | 1% |

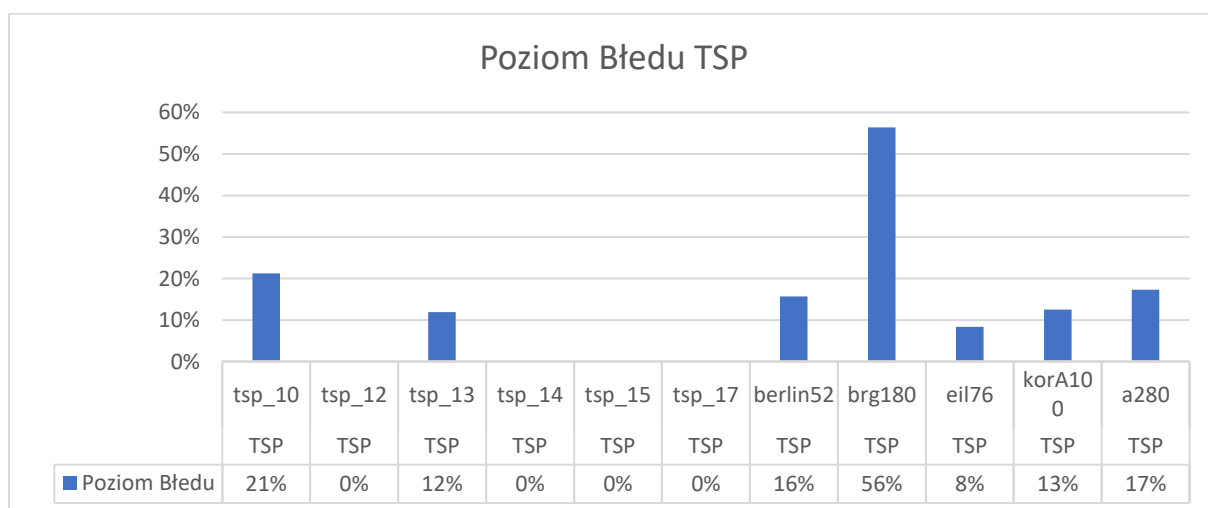
Tabela 17 – Wartości kosztów uzyskanych i oczekiwanych oraz poziom błędu dla instancji ATSP.



Wykres 45 – Poziomy błędów wyników uzyskanych od optymalnych dla poszczególnych instancji ATSP

| TSP | | | |
|--------------|----------------|------------------|--------------|
| Nazwa Pliku | Koszt uzyskany | Koszt oczekiwany | Poziom Błędu |
| tsp_10.txt | 257 | 212 | 21% |
| tsp_12.txt | 264 | 264 | 0% |
| tsp_13.txt | 301 | 269 | 12% |
| tsp_14.txt | 282 | 282 | 0% |
| tsp_15.txt | 291 | 291 | 0% |
| tsp_17.txt | 39 | 39 | 0% |
| berlin52.txt | 8724 | 7542 | 16% |
| brg180.txt | 2970 | 1950 | 52% |
| eil76.txt | 583 | 538 | 8% |
| korA100.txt | 23944 | 21282 | 13% |
| a280.txt | 3025 | 2579 | 17% |

Tabela 18 – Wartości kosztów uzyskanych i oczekiwanych oraz poziom błędu dla instancji TSP.



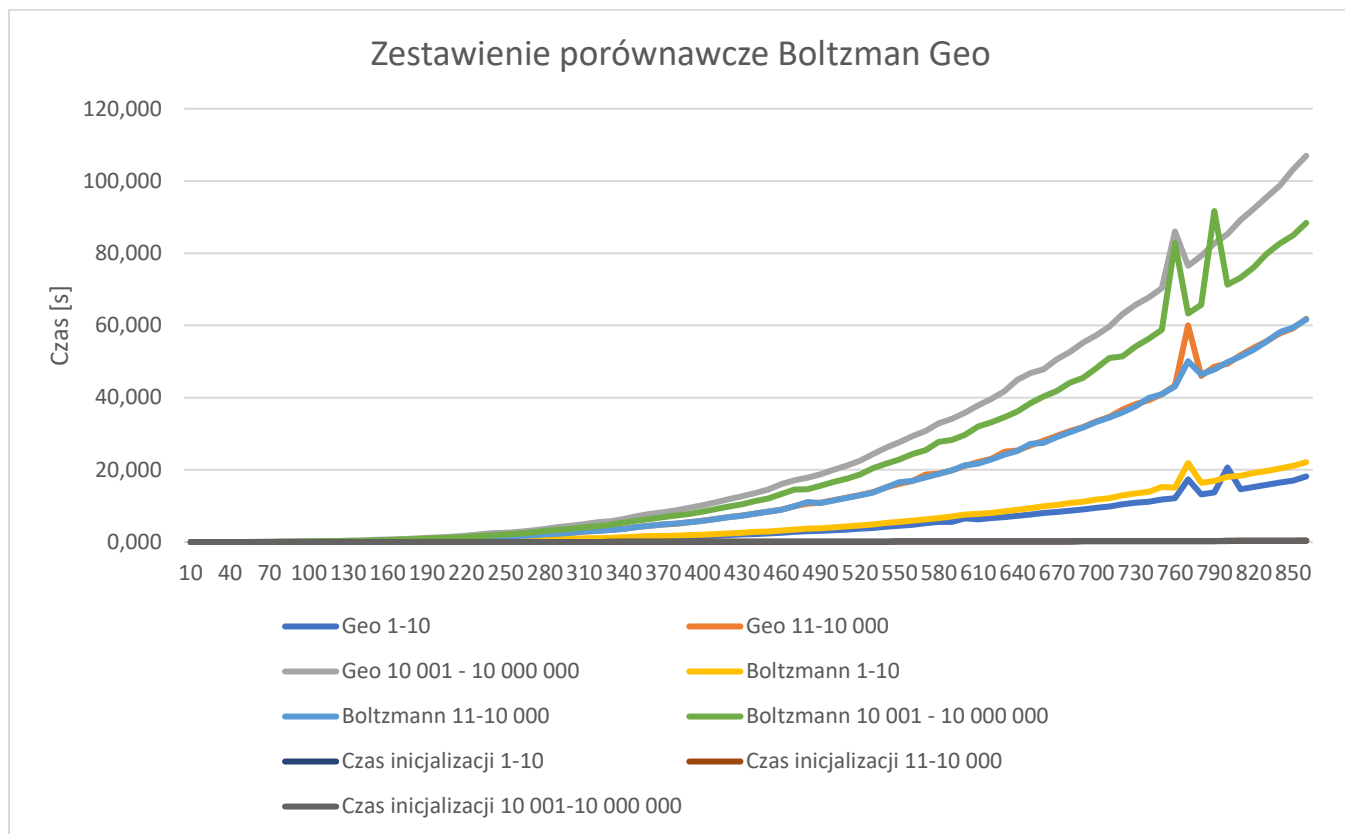
Wykres 46 – Poziomy błędów wyników uzyskanych od optymalnych dla poszczególnych instancji TSP

| | | | |
|--|-----|-----------|--------------------|
| | Geo | Boltzmann | Czas inicjalizacji |
|--|-----|-----------|--------------------|

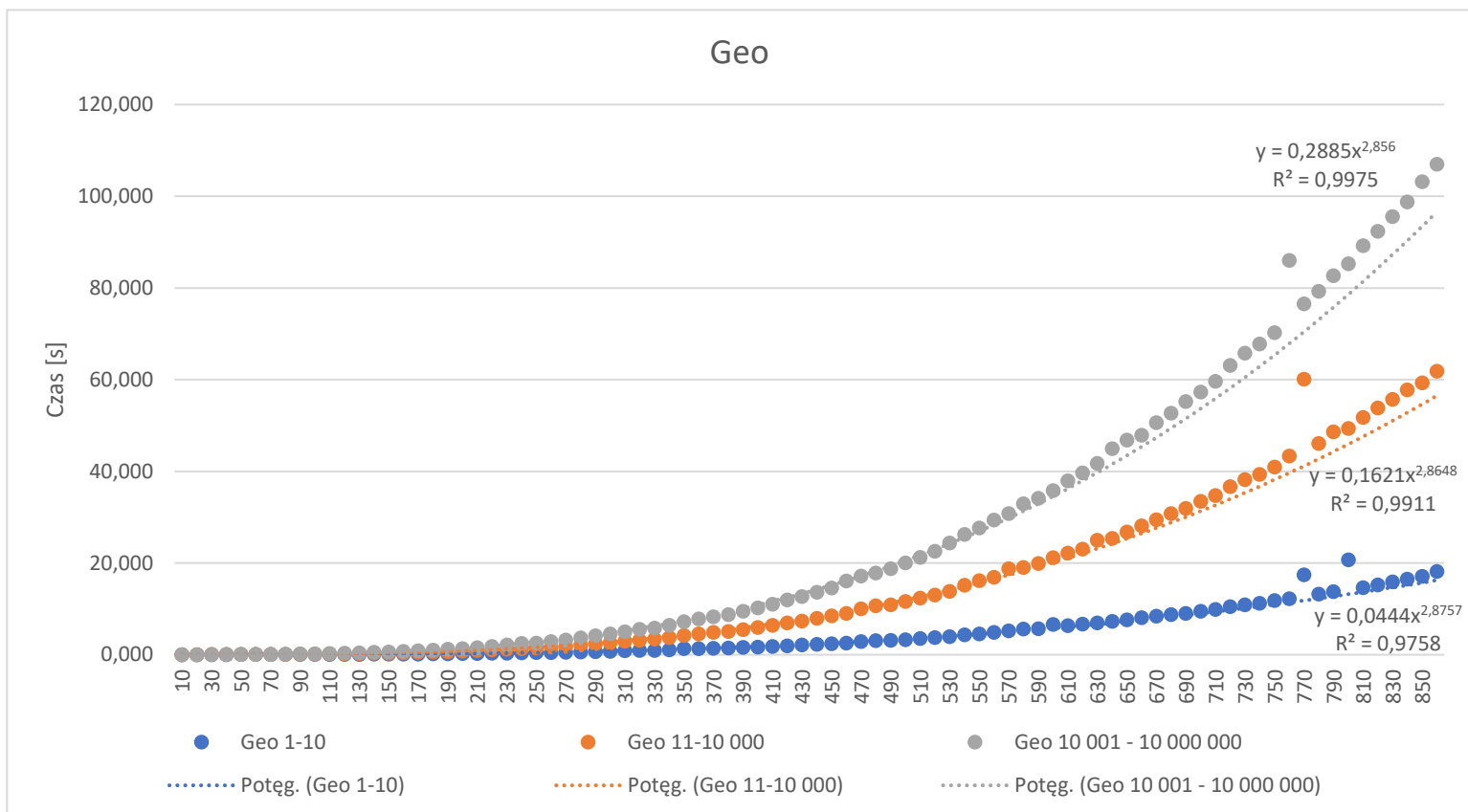
| Wielkość instancji | 1-10 | 11-10 000 | 10 001 - 10 000 000 | 1-10 | 11-10 000 | 10 001 - 10 000 000 | 1-10 | 11-10 000 | 10 001-10 000 000 |
|-----------------------|----------|-----------|------------------------|----------|-----------|---------------------------|--------|-----------|----------------------|
| 10 | 0,095 | 0,308 | 0,549 | 0,106 | 0,286 | 0,447 | 0,046 | 0,044 | 0,043 |
| 20 | 0,423 | 1,554 | 2,786 | 0,529 | 1,551 | 2,290 | 0,152 | 0,156 | 0,195 |
| 30 | 1,203 | 4,394 | 7,706 | 1,489 | 4,327 | 6,356 | 0,394 | 0,333 | 0,360 |
| 40 | 2,486 | 9,042 | 15,901 | 3,095 | 9,038 | 13,166 | 0,605 | 0,704 | 0,731 |
| 50 | 4,495 | 16,229 | 28,258 | 5,617 | 16,081 | 23,518 | 1,157 | 1,167 | 1,070 |
| 60 | 7,292 | 26,318 | 45,934 | 9,141 | 26,115 | 37,972 | 1,394 | 1,381 | 1,490 |
| 70 | 11,091 | 40,590 | 69,675 | 13,890 | 39,674 | 58,077 | 1,667 | 1,707 | 1,700 |
| 80 | 16,015 | 57,747 | 99,916 | 19,963 | 57,381 | 82,589 | 2,317 | 2,375 | 2,295 |
| 90 | 22,244 | 79,630 | 138,760 | 27,784 | 79,337 | 114,664 | 2,847 | 2,749 | 2,878 |
| 100 | 29,905 | 106,755 | 185,319 | 37,166 | 106,186 | 153,496 | 3,551 | 3,511 | 3,737 |
| 110 | 39,159 | 138,548 | 240,678 | 48,366 | 137,285 | 199,188 | 4,360 | 4,243 | 4,331 |
| 120 | 49,705 | 177,105 | 306,214 | 62,184 | 176,042 | 253,472 | 5,092 | 5,287 | 5,042 |
| 130 | 62,478 | 222,554 | 386,670 | 77,960 | 222,090 | 318,619 | 5,985 | 5,992 | 6,096 |
| 140 | 77,417 | 274,961 | 475,008 | 96,106 | 272,628 | 396,231 | 7,193 | 7,142 | 7,121 |
| 150 | 93,297 | 332,428 | 578,179 | 116,228 | 335,779 | 479,231 | 9,808 | 9,593 | 8,442 |
| 160 | 112,515 | 401,861 | 693,127 | 141,390 | 399,535 | 574,891 | 12,116 | 9,970 | 9,894 |
| 170 | 134,152 | 476,183 | 830,081 | 167,291 | 476,182 | 683,644 | 11,843 | 11,633 | 10,936 |
| 180 | 157,678 | 565,529 | 973,697 | 197,892 | 564,628 | 804,808 | 11,959 | 11,967 | 12,232 |
| 190 | 185,383 | 660,826 | 1140,273 | 231,964 | 655,874 | 945,647 | 14,118 | 14,528 | 14,001 |
| 200 | 216,627 | 767,079 | 1333,045 | 269,802 | 763,425 | 1103,328 | 15,359 | 14,963 | 15,231 |
| 210 | 246,042 | 881,432 | 1518,783 | 308,888 | 878,117 | 1261,131 | 17,053 | 17,681 | 17,001 |
| 220 | 284,421 | 1010,675 | 1744,585 | 356,946 | 1005,344 | 1444,411 | 18,766 | 18,500 | 18,514 |
| 230 | 336,313 | 1196,538 | 2109,208 | 422,025 | 1241,460 | 1713,269 | 21,126 | 20,920 | 20,534 |
| 240 | 375,364 | 1333,849 | 2459,564 | 469,637 | 1323,428 | 1893,576 | 22,550 | 22,160 | 22,637 |
| 250 | 414,638 | 1470,459 | 2533,390 | 520,155 | 1457,422 | 2121,934 | 24,741 | 24,482 | 24,258 |
| 260 | 463,660 | 1655,999 | 2840,504 | 581,496 | 1640,339 | 2347,848 | 25,995 | 27,023 | 26,480 |
| 270 | 519,103 | 1839,993 | 3173,949 | 646,274 | 1832,464 | 2628,464 | 28,780 | 28,367 | 28,947 |
| 280 | 595,802 | 2128,157 | 3656,605 | 768,019 | 2114,237 | 3075,674 | 32,222 | 31,660 | 31,372 |
| 290 | 659,125 | 2346,759 | 4132,213 | 836,949 | 2316,621 | 3366,184 | 35,600 | 34,271 | 33,484 |
| 300 | 737,115 | 2603,448 | 4525,936 | 909,015 | 2588,503 | 3722,143 | 37,580 | 36,647 | 37,442 |
| 310 | 820,173 | 2924,651 | 4948,824 | 1021,415 | 2930,946 | 4104,369 | 38,561 | 39,438 | 38,044 |
| 320 | 890,533 | 3098,545 | 5500,706 | 1094,593 | 3100,043 | 4415,125 | 41,398 | 41,153 | 41,922 |
| 330 | 937,727 | 3346,028 | 5754,829 | 1171,769 | 3329,481 | 4769,586 | 43,453 | 43,958 | 43,754 |
| 340 | 1055,040 | 3701,989 | 6378,930 | 1300,222 | 3661,676 | 5370,615 | 45,911 | 47,047 | 47,549 |
| 350 | 1291,608 | 4196,790 | 7169,071 | 1520,861 | 4132,134 | 5936,149 | 50,088 | 50,627 | 50,305 |
| 360 | 1297,868 | 4541,233 | 7809,057 | 1645,442 | 4486,743 | 6386,836 | 52,631 | 53,374 | 54,361 |
| 370 | 1377,056 | 4846,161 | 8264,329 | 1687,573 | 4837,287 | 6895,187 | 57,716 | 57,392 | 57,068 |
| 380 | 1427,972 | 5067,118 | 8750,947 | 1779,835 | 5144,723 | 7379,389 | 59,396 | 60,401 | 60,597 |
| 390 | 1550,809 | 5477,402 | 9472,710 | 1927,708 | 5467,549 | 7836,282 | 63,191 | 63,747 | 63,455 |
| 400 | 1656,403 | 5924,613 | 10155,695 | 2071,210 | 5877,626 | 8409,406 | 66,316 | 66,319 | 66,698 |
| 410 | 1805,628 | 6399,328 | 10960,628 | 2233,008 | 6349,656 | 9104,016 | 70,112 | 70,767 | 71,716 |
| 420 | 1933,188 | 6940,360 | 11904,512 | 2410,898 | 6869,824 | 9866,285 | 74,321 | 75,127 | 72,237 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| 430 | 2136,548 | 7324,604 | 12663,155 | 2592,739 | 7292,811 | 10500,547 | 77,225 | 78,248 | 77,115 |
| 440 | 2211,054 | 7893,907 | 13601,868 | 2836,595 | 7886,845 | 11305,039 | 82,114 | 82,296 | 80,339 |
| 450 | 2368,489 | 8422,973 | 14523,012 | 2960,889 | 8429,005 | 12054,910 | 85,939 | 85,043 | 86,972 |
| 460 | 2539,695 | 8969,972 | 16051,538 | 3165,825 | 8924,497 | 13266,211 | 90,288 | 91,541 | 89,501 |
| 470 | 2851,194 | 9956,530 | 17142,327 | 3497,659 | 9954,979 | 14551,495 | 94,030 | 93,729 | 95,757 |
| 480 | 3016,324 | 10646,403 | 17784,221 | 3698,468 | 11088,433 | 14650,183 | 98,908 | 98,454 | 98,340 |
| 490 | 3084,526 | 10881,809 | 18768,743 | 3846,206 | 10828,059 | 15575,022 | 103,620 | 104,425 | 106,224 |
| 500 | 3275,618 | 11611,191 | 20015,525 | 4076,903 | 11549,844 | 16645,264 | 106,929 | 108,716 | 107,564 |
| 510 | 3483,148 | 12340,336 | 21178,589 | 4322,768 | 12251,781 | 17588,851 | 112,286 | 113,161 | 114,466 |
| 520 | 3692,724 | 13005,446 | 22527,801 | 4585,434 | 12947,329 | 18688,739 | 117,154 | 117,094 | 118,175 |
| 530 | 3901,211 | 13792,619 | 24336,486 | 4848,214 | 13742,283 | 20440,762 | 123,896 | 124,417 | 124,337 |
| 540 | 4294,387 | 15144,755 | 26192,247 | 5303,951 | 15201,038 | 21731,413 | 127,035 | 126,998 | 127,018 |
| 550 | 4509,297 | 16135,382 | 27638,278 | 5596,474 | 16551,310 | 22854,894 | 132,626 | 134,769 | 133,787 |
| 560 | 4816,431 | 16893,884 | 29335,153 | 5943,378 | 16910,146 | 24373,966 | 141,937 | 140,737 | 140,911 |
| 570 | 5196,567 | 18733,802 | 30758,484 | 6276,936 | 17903,089 | 25467,580 | 143,103 | 146,438 | 145,481 |
| 580 | 5580,335 | 18972,913 | 32901,951 | 6675,277 | 18909,930 | 27788,547 | 149,999 | 149,819 | 154,332 |
| 590 | 5627,511 | 19887,711 | 34121,502 | 7086,617 | 19841,171 | 28276,078 | 158,390 | 159,197 | 163,467 |
| 600 | 6583,721 | 21121,935 | 35797,360 | 7597,941 | 21236,973 | 29692,974 | 163,125 | 163,746 | 162,257 |
| 610 | 6294,775 | 22120,765 | 37890,557 | 7843,764 | 21724,558 | 31987,732 | 169,160 | 168,984 | 168,892 |
| 620 | 6643,745 | 23028,561 | 39621,695 | 8104,502 | 22874,160 | 33117,640 | 173,138 | 171,330 | 175,255 |
| 630 | 6885,782 | 24973,895 | 41729,134 | 8545,678 | 24207,528 | 34591,377 | 180,330 | 180,002 | 178,023 |
| 640 | 7250,132 | 25336,857 | 44924,499 | 8941,204 | 25231,622 | 36173,418 | 189,743 | 190,279 | 189,413 |
| 650 | 7601,404 | 26756,948 | 46772,851 | 9434,011 | 27201,233 | 38491,484 | 190,820 | 192,596 | 193,206 |
| 660 | 8080,083 | 28076,105 | 47874,651 | 9898,743 | 27499,892 | 40361,224 | 203,446 | 203,979 | 203,649 |
| 670 | 8354,204 | 29421,176 | 50574,315 | 10245,748 | 29097,324 | 41882,898 | 206,754 | 206,502 | 208,518 |
| 680 | 8705,162 | 30739,085 | 52633,753 | 10856,172 | 30448,936 | 44112,979 | 213,417 | 214,483 | 215,856 |
| 690 | 9001,525 | 31863,273 | 55185,415 | 11177,609 | 31717,926 | 45493,120 | 225,272 | 225,294 | 228,423 |
| 700 | 9470,919 | 33397,752 | 57244,001 | 11754,584 | 33252,406 | 48096,044 | 227,131 | 230,017 | 228,828 |
| 710 | 9848,756 | 34684,907 | 59618,383 | 12187,619 | 34520,654 | 50958,191 | 236,357 | 237,108 | 238,096 |
| 720 | 10446,626 | 36667,740 | 63106,556 | 12955,541 | 35911,711 | 51442,450 | 240,045 | 243,276 | 243,179 |
| 730 | 10867,343 | 38188,963 | 65726,869 | 13472,561 | 37542,673 | 54166,297 | 248,700 | 252,840 | 250,025 |
| 740 | 11180,918 | 39286,180 | 67747,482 | 13915,456 | 39921,301 | 56251,854 | 259,038 | 259,046 | 259,393 |
| 750 | 11771,155 | 40914,152 | 70258,698 | 15245,256 | 40927,632 | 58808,985 | 265,277 | 266,813 | 267,302 |
| 760 | 12185,541 | 43334,560 | 85970,992 | 15072,097 | 43093,623 | 82786,297 | 274,088 | 278,454 | 276,809 |
| 770 | 17386,015 | 60049,012 | 76500,914 | 21896,419 | 50060,457 | 63331,775 | 282,093 | 286,026 | 284,441 |
| 780 | 13200,329 | 46037,195 | 79235,588 | 16369,854 | 46454,624 | 65696,567 | 288,853 | 295,214 | 290,307 |
| 790 | 13705,231 | 48584,589 | 82676,696 | 16972,658 | 47799,975 | 91670,962 | 298,692 | 302,228 | 304,268 |
| 800 | 20657,635 | 49338,921 | 85245,257 | 18047,100 | 49845,315 | 71305,718 | 308,680 | 315,344 | 317,031 |
| 810 | 14618,465 | 51754,111 | 89186,858 | 18341,177 | 51404,052 | 73205,354 | 321,796 | 323,674 | 319,636 |
| 820 | 15227,617 | 53786,525 | 92328,419 | 19111,043 | 53295,570 | 76021,182 | 326,655 | 328,798 | 328,627 |
| 830 | 15848,617 | 55643,514 | 95543,884 | 19674,924 | 55553,224 | 79900,587 | 342,512 | 344,050 | 343,568 |
| 840 | 16453,275 | 57760,683 | 98722,169 | 20370,052 | 58170,357 | 82679,162 | 345,981 | 348,592 | 345,111 |
| 850 | 17059,229 | 59260,298 | 103182,391 | 21127,185 | 59385,795 | 84895,407 | 357,366 | 362,689 | 361,201 |
| 860 | 18142,116 | 61814,966 | 106962,511 | 22117,002 | 61650,889 | 88373,399 | 374,161 | 380,356 | 372,356 |

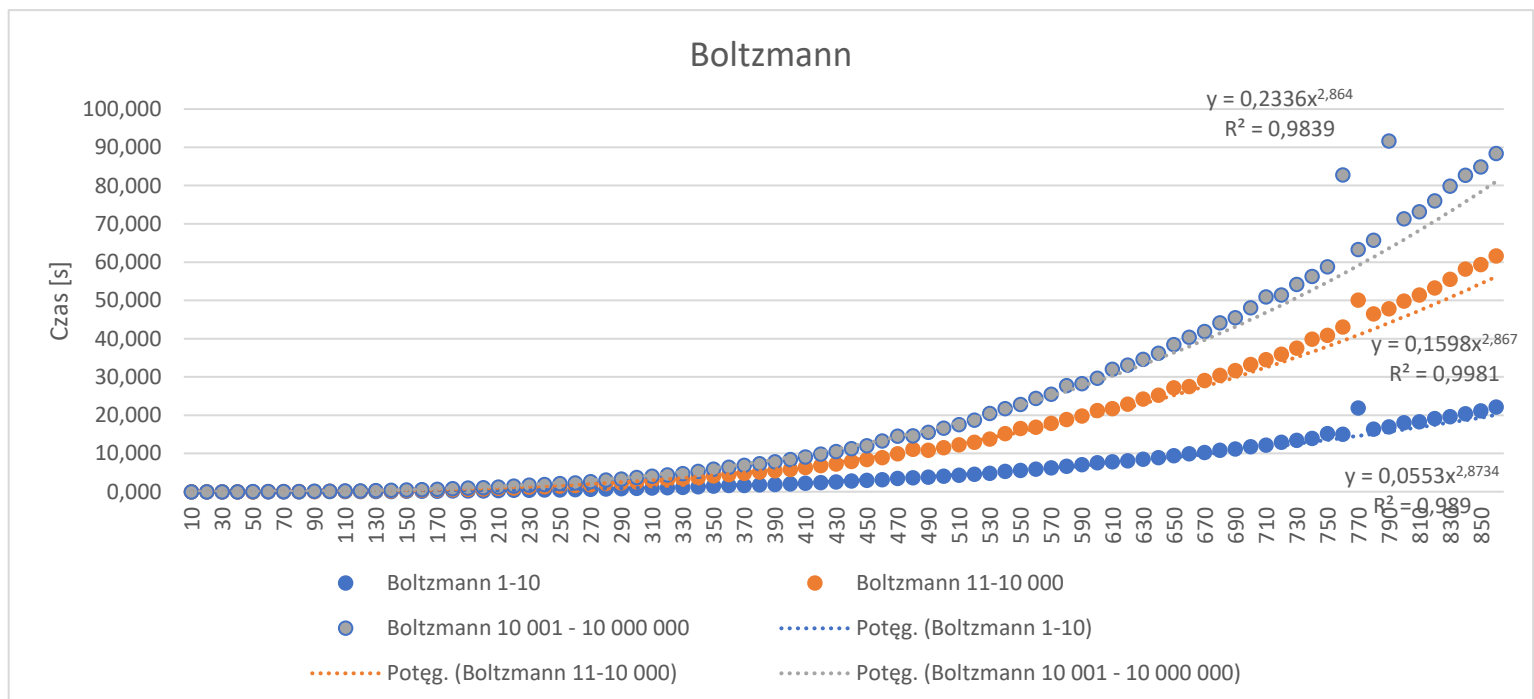
Tabela 19 – Czas działania algorytmu oraz czasu inicjalizacji w zależności od wielkości instancji w milisekundach



Wykres 47 – Zestawienie czasu algorytmu i inicjalizacji w zależności od wielkości instancji.

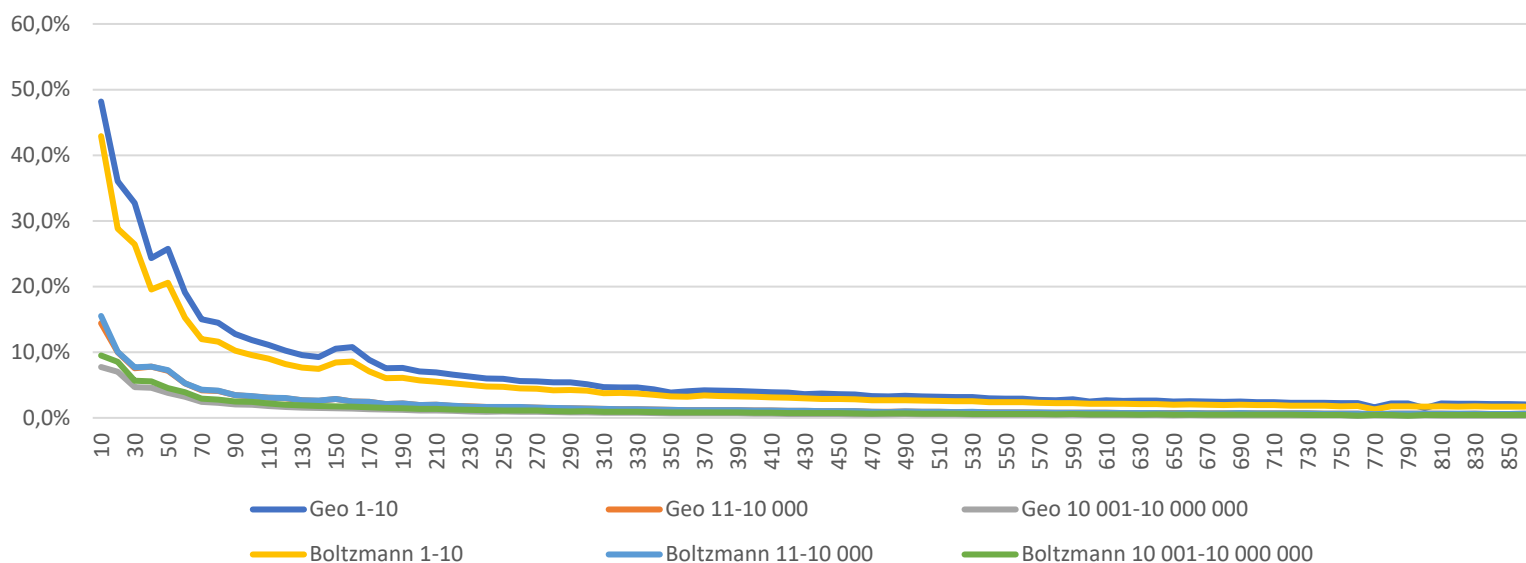


Wykres 48 – Zestawienie czasu algorytmu w zależności od wielkości instancji dla chłodzenia geometrycznego.



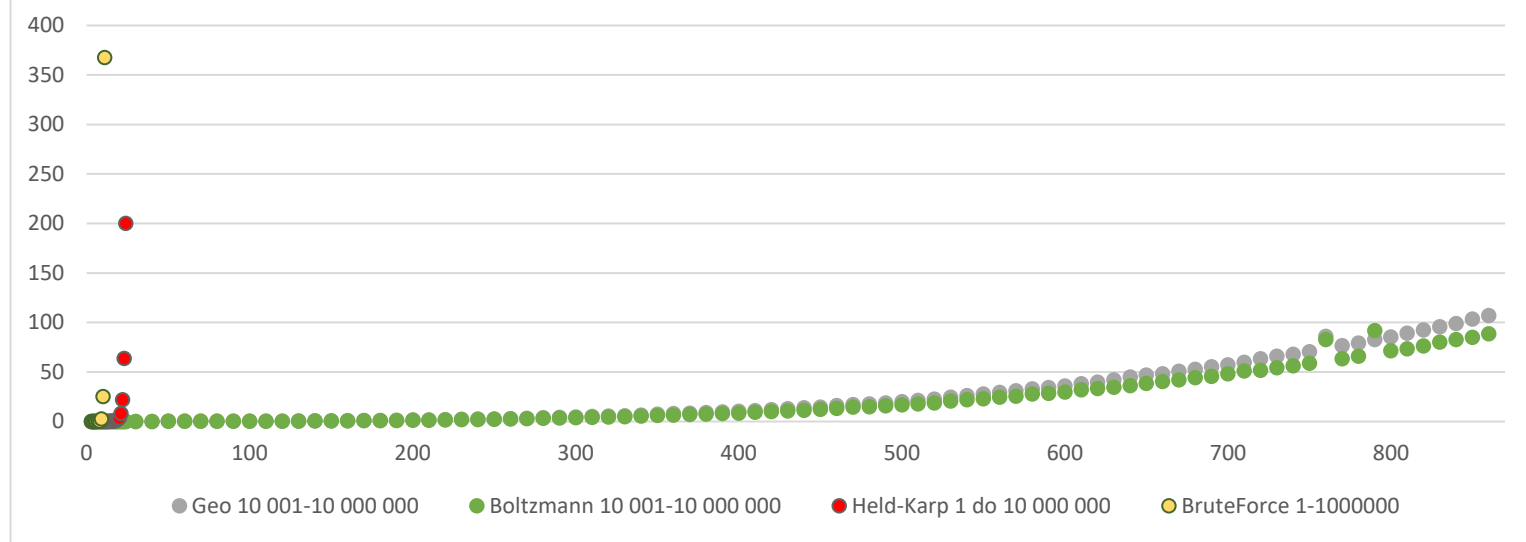
Wykres 49 – Zestawienie czasu algorytmu w zależności od wielkości instancji dla chłodzenia Boltzmann.

Stosunek procentowy czasu inicjalizacji do czasu algorytmu



Wykres 50 – Stosunek prętowy czasu inicjalizacji do czasu algorytmu.

Porównanie złożoności czasowej algorytmów



Wykres 51 – Porównanie złożoności czasowej algorytmów

8. Analiza wyników i wnioski

Analizując powyższe dane możemy wyciągnąć wiele ciekawych wniosków.

Zacznijmy od wpływu parametrów sterujących na jakość wyniku i złożoność czasową:

1. Temperatura początkowa:

Analizując tabele od 1 do 4 i wykresy od 1 do 8 możemy zaobserwować że sposób wyznaczania temperatury początkowej nie ma dużego wpływu na jakość wyniku. Wyniki uzyskane na podstawie temperatury początkowej jako maksymalnej różnicy jak i jako średniej z n próbek są bardzo zbliżone. Nieznacznie lepsze wyniki uzyskujemy w przypadku temperatury początkowej jako maksymalnej różnicy. Przyczyną i skutkiem takiego stanu jest cykl pomiarowy najczęściej dłuższy o jedną epokę.

2. Ścieżka początkowa:

Analizując tabelę od 5 do 6 i wykresy od 9 do 10 obserwujemy że wybór ścieżki początkowej ma znaczący wpływ na jakość wyniku dzięki czemu może mieć wpływ na czas pracy algorytmu. Wynika to z tego, że początkowa trasa sama w sobie jest już w jakimś stopniu optymalną ścieżką. W skutek czego algorytm tylko poprawia ścieżkę. Z tego powodu możemy zmniejszyć długość trwania epoki, a uzyskiwane wyniki powinny być wciąż bliskie wartości optymalnej. Dlatego też pomimo trochę większego czasu inicjalizacji stosowanie takiego podejścia może mieć ogromny wpływ na całkowity czas. Obserwujemy to na wykresie 50, który pokazuje, że czas samej inicjalizacji w stosunku do czasu trwania algorytmu dla dużych instancji jest bardzo niewielki.

3. Sposób chłodzenia:

Analizując tabelę od 7 do 10 i wykresy od 11 do 18 obserwujemy, że wybór sposobu chłodzenia na jakość wyniku ma niewielki wpływ, jednakże już na złożoność czasową bardzo duży. Analizując tabele i wykresy możemy zauważyć że aby algorytm wykorzystujący chłodzenie geometryczne uzyskiwał lepsze wyniki od chłodzenia Boltzmanna należy ustawić współczynnik alfa na poziomie 0,7. Co skutkuje niemal 2 krotnie większą liczbą stopni w skutek czego również złożoność czasowa rośnie 2 krotnie. Natomiast przy współczynniku alfa na poziomie 0,9 złożoność czasowa dla chodzenia geometrycznego jest już 5 krotnie większa od złożoności czasowej Boltzmanna. Lecz ciekawą opcją jest ustawienie współczynnika chłodzenia alfa na poziomie 0,1 w skutek czego algorytm będzie 3 krotnie szybszy niż w przypadku chłodzenia Boltzmanna, a wyniki będą gorsze o zaledwie od kilka do kilkunastu procent..

4. Długość epoki

Długość epoki ma ogromny wpływ na jakość wyników jak i złożoność czasowo. Jest to dość logiczne, im więcej próbek przetestujemy tym większa szansa, że trafimy na optymalną. Dlatego też mimo iż dla małych instancji tj. do około 50 wierzchołków nie widzieliśmy zbyt dużej różnicy przemawiającej za stosowaniem długości epoki na podstawie wzoru $n*n$. Tak już przy poziomie 100 – 200 wierzchołków widzimy, że długość epoki ma ogromny wpływ na jakość naszego wyniku. Warto więc uznać ten wzór jako bazowy i co najwyżej modyfikować go w zakresie od 1% tej wartości w górę ponieważ jak możemy zauważyć stosując wzór $n*n/2$ uzyskiwane wyniki były zbliżone do wyników uzyskiwanych ze wzoru $n*n$, mimo iż czas potrzebny do wykonania algorytmu był znacząco krótszy.

5. Sposób wyboru sąsiedztwa

Co do sposobu wyboru sąsiedztwa ta sprawa jest nieco bardziej skomplikowana. To co od razu widać to łączenie generowania sąsiedztwa w sposób losowy wraz z wyborem sąsiedztwa poprzez zamianę z poprzedzającym jest złym pomysłem. Uzyskiwane w ten sposób wyniki są dużo gorsze od pozostałych. Natomiast w przypadku połączenia tego sposobu z ścieżką początkową wygenerowaną w sposób zachłanny już daje lepsze wyniki. Jednakże nie ma pewności że przyczyną takiego stanu rzeczy jest to połączenie czy sam sposób generowania ścieżki powoduje znalezienie jednego z lepszych rozwiązań. Najlepiej więc zastosować generowanie ścieżki początkowej w sposób zachłanny i wybór sąsiedztwa poprzez wylosowanie dwóch wierzchołków i zamianę miejscami.

6. Poziom akceptacji gorszego wyniku.

Ostatnim parametrem jaki był testowany jest poziom akceptacji gorszego wyniku. Parametr ten wpływa na to o ile gorsze wyniki będą akceptowane przez algorytm jako lesza ścieżka. W przypadku tego parametru trudno jest ustalić ogólnie najlepszą wartość w przypadku niektórych instancji wraz ze wzrostem parametru jakość wyników spadała a w przypadku innych rosła. Tak więc aby znaleźć najlepszą wartość dla danej instancji należy podejść do tego eksperymentalnie testując ten współczynnik. Ponieważ nie jesteśmy w stanie powiedzieć, że tak ustawiony ten parametr będzie dobry dla wszystkich instancji. W odróżnieniu od pozostałych gdzie można było stwierdzić że w większości przypadków tak ustawione parametry dają najlepsze wyniki tak tu jest to niemożliwe.

Wnioski odnośnie jakości wyników:

Po przeanalizowaniu wszystkich parametrów badałem jakość uzyskiwanych wyników stosując możliwie najlepsze parametry. Czyli zachłanny sposób generowania ścieżki początkowej, temperaturę początkową na podstawie maksymalnej różnicy, wybór sąsiadów za pomocą zamiany 2 losowych wierzchołków oraz długość epoki na poziomie $n*n$.

W wyniku czego maksymalny błąd dla instancji typu TSP jaki uzyskałem to 56% dla pliku *brg180* jednakże należy zaznaczyć, że plik ten zawiera ścieżki skrajnie różne i przykładowo jedna zamiana kolejności wierzchołków może spowodować nawet 100 krotny wzrost kosztu, tak więc wciąż jest to niewielki błąd. Podjąłem próby niwelacji tego błędu, ale udało mi się zejść jedynie do poziomu 48% czyli wyznaczyć drogę, której koszt to 2880. W przypadku pozostałych instancji maksymalny błąd dla instancji typu TSP to 21%, ATSP to 29%.

Wnioski odnośnie złożoności czasowej:

Jeśli chodzi o złożoność czasową jest ona silnie zależna od długości epoki oraz temperatury początkowej, która to bezpośrednio wpływa na liczbę epok, a także sposobu chłodzenia który to również znacząco wpływa na liczbę epok.

W związku z tym wartości odległości między wierzchołkami mają duży wpływ na złożoność czasową co obserwujemy na wykresie 48 i 49.

Porównując jednak czas algorytmu wyżarzania do algorytmów dokładnych takich jak Brute-Force czy Held-Karp, algorytm ten jest dużo szybszy co pozwala mu na wyznaczaniu drogi dla dużo większych instancji i pomimo że nie zawsze droga ta jest najlepsza to jak wynika z wykresów 45 i 46 jest bliska najlepszemu możliwemu rozwiązaniu.

Natomiast czas samej inicjalizacji dla dużych instancji jest bardzo niewielki co wynika z wykresu 50. Dzięki temu możemy go pominąć w wyznaczaniu złożoności czasowej która dla tego algorytmu wygląda następująco $O(\text{długość epoki} * \text{liczba epok} * n)$ gdzie długość epoki i liczba epok wynikają z podwójnej pętli natomiast n to wielkość instancji wynika z wyznaczenia nowego kosztu, który tworzony jest poprzez przejście przez wszystkie wierzchołki przy wyznaczaniu koszt przejścia.

Podsumowanie:

Parametry sterujące w różnym stopniu wpływają na złożoność czasową i jakość wyniku. Najistotniejszymi z nich pod kątem złożoności czasowej jak i jakości wyniku jest długość epoki. Lecz również niezwykle ważne są takie parametry jak sposób wyboru sąsiedztwa czy też ścieżka i temperatura początkowa oraz sposób chłodzenia. Natomiast poziom akceptacji wyników pogarszających wpływa na wynik jednakże w sposób bardzo szczególny i silnie zależny od instancji problemu.

Małe instancje dla tego problemu są zależne od odległości między wierzchołkami jednakże można przyjąć że są to instancje o liczbie wierzchołków do 300 elementów, ponieważ czas dla instancji o wierzchołkach w odległości 1-10 utrzymuje się poniżej 1s natomiast dla instancji o wierzchołkach w odległości 10 001 – 10 000 000 utrzymuje się na poziomie około 5s.

Natomiast dużą instancją możemy nazwać instancję o liczbie wierzchołków ponad 3000 której czas obliczeniowy jest na poziomie około 20 min dla odległości wierzchołków od 1 do 10 i jednej godziny na odległości wierzchołków 11-10 000. Natomiast dla odległości 10 001 – 10 000 000 przekroczył 1h(pomiar nie został zakończony).

Jednakże należy pamiętać, że aby uzyskiwać najlepsze wyniki pomiar najlepiej wykonać kilkukrotnie. W takim przypadku pomiar instancji o czasie 1 minuty czyli około 800 elementów również można uznać za dużą instancję, ponieważ taki pomiar wykonujemy kilka razy.