

Projektowanie Efektywnych Algorytmow

Projekt

18/11/2022

259222 Bartosz Ostrowski

(3) Simulated Annealing

spis treści	strona
Sformułowanie zadania	2
Metoda	3
Algorytm	6
Dane testowe	8
Procedura badawcza	8
Wyniki	12
Analiza wyników i wnioski	23
Dodatek	24

1. Sformułowanie zadania

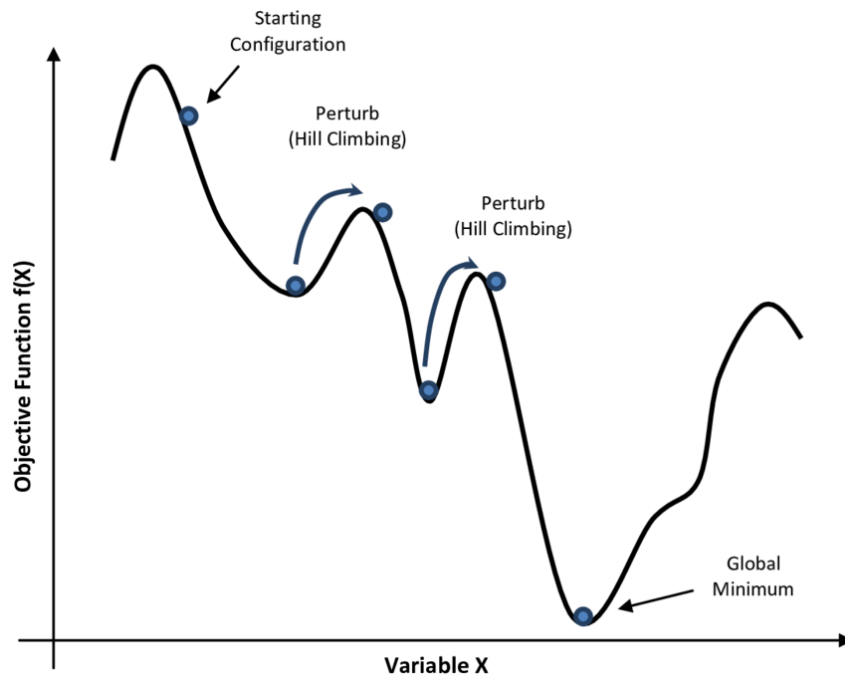
Algorytm *Symulowanego wyżarzania* (*Simulated Annealing*), jest jedną z technik projektowania algorytmów heurystycznych, do określenia przybliżonego optimum dla danego problemu, koncepcja wywodzi się z metody obróbki cieplnej, polegającym na nagrzaniu materiału do określonej temperatury, wytrzymaniu przy tej temperaturze oraz następnym powolnym studzeniu.

Symulowane wyżarzanie jest metaheurystyką, zatem nie jest to szczegółowo opisany algorytm, a jedynie ogólna koncepcja. W zależności od problemu do rozwiązania, poszczególne elementy algorytmu mogą być zdefiniowane różnie. Przykładowo, przy rozwiązywaniu problemu komiwożacza pobliskim rozwiązaniem może być zamiana miejscami dwóch węzłów. Odległość między aktualnym a nowym rozwiązaniem w takim przypadku nie musi zależeć od temperatury.

Należy wziąć pod uwagę fakt, że algorytm ten nie gwarantuje znalezienia dokładnego rozwiązania problemu, ponieważ głównym elementem jest poleganie na losowym dobieraniu następnych rozwiązań (w granicy sąsiedztwa do aktualnego rozwiązania), a następnie przy pomocy dobranego kryterium rozwiązania, dobranie prawdopodobieństwa i decyzja, czy należy przyjąć niekorzystne rozwiązanie, bądź na podstawie tego prawdopodobieństwa je porzucić.

2. Metoda

Symulowane wyżarzanie jest rozszerzoną wersją przeszukiwania lokalnego (local search). Przeszukiwanie lokalne zatrzymuje się przy pierwszym minimum (bądź maksimum), badając całą przestrzeń od punktu startowego, jednak ograniczając się do najbardziej korzystnych lokalnie wyników. Koncepcję tę rozszerzamy o możliwość wyskoczenia z naszych ograniczeń, stosujemy do tego technikę, która jest pochodną przeszukiwania lokalnego tzw. hill climbing, modyfikujemy przy tym zasadę przeskoku która w przypadku SA jest obierana losowo.



Rysunek 1: Przykład zasady działania Symulowanego wyżarzania, dla funkcji w płaszczyźnie euklidesowej.

Dzięki Hill climbing'owi jesteśmy w stanie ominąć nasze minima lokalne i jest możliwość (w zależności od parametrów) dotrzeć do naszego globalnego minimum, na rysunku 1 zobrazowany jest właśnie to zagadnienie.

Symulowane wyżarzanie w TSP, rozpoczyna się od wygenerowania rozwiązania początkowego R , następnie na podstawie tego rozwiązania tworzone jest rozwiązanie sąsiednie R^* – następnie porównujemy ze sobą długości obu rozwiązań $\Delta = F(R) - F(R^*)$. Jeśli $\Delta < 0$, rozwiązanie sąsiednie R^* zostaje zaakceptowane jako nowe początkowe rozwiązanie w następnej iteracji, z racji, że posiada krótszą drogę. W przeciwnym wypadku jeśli $\Delta \geq 0$, rozwiązanie sąsiednie R^* też może zostać zaakceptowane z określonym prawdopodobieństwem $e^{(-\Delta / T)}$ - gdzie T jest temperaturą. Temperatura jest zmniejszanie, zgodnie z obranym schematem chłodzenia.

Kluczowym zagadnieniem w przypadku algorytmu Symulowanego wyżarzania jest dobranie parametrów dla danej instancji, aby zapewnić, że losowe zmiany podczas wykonywania doprowadzą nas do minimum globalnego. Zagadnienie to określane jest „strojeniem” algorytmu.

W celu zminimalizowania błędnych wyników znalezienia optymalnego rozwiązania, stosuje się parametry, które ustalamy w zależności od instancji, parametrami są:

1. Rozwiązanie początkowe – c_0
2. Temperatura początkowa – T_0
3. Temperatura końcowa – T_f
4. Metoda chłodzenia (oraz również jej zmienne pomocnicze np. k – stała Boltzmanna)
5. Sposób przekształcania rozwiązań (*insert, invert, swap*)
6. Liczba prób w ramach jednej epoki – k

Metody wyznaczania rozwiązania początkowego:

1. Prosty cykl Hamiltona – za każdym razem taka sama ścieżka $1, 2 \dots n-1, n$, gdzie n , to ilość wierzchołków.
2. Metoda losowa – przeszukujemy losowy cykl Hamiltona, start zawsze od zera (co za tym idzie, koniec również zawiera zero), reszta dobierana losowo.
3. Metoda zachłanna – wybieramy lokalnie najlepszą drogę zaczynając od wierzchołka zero.

Temperatura początkowa, jest wybierana na jeden z dwóch sposobów:

1. Wyliczana na podstawie wielkości instancji i przemnożona przez stały współczynnik podany w pliku konfiguracyjnym.
2. W wypadku braku współczynnika temperatura początkowa wyniesie

$$T = e_{max} * n^2$$

gdzie: e_{max} – najdłuższa krawędź w całym grafie,
 n – ilość wierzchołków

Temperatura końcowa:

Podawana w pliku konfiguracyjnym, z góry określona przeważnie do testów 0.001

Warunek stopu

Wtedy kiedy aktualna temperatura będzie niższa od wyznaczonej końcowej.

$$T_f > T$$

Metody szukania sąsiedztwa:

1. Swap – zamiana dwóch elementów na wyznaczonych pozycjach (i oraz j)
2. Insert – wybranie elementu i i wstawienie go w wybrane miejsce (element i oraz miejsce j)
3. Invert – odwrócenie wyznaczonego zakresu *od i do j*

Schematy chłodzenia:

1. Geometryczny

$$T_{new} = T_{old} * \alpha^2$$

2. Boltzmann'a

$$T_{new} = \frac{T_{old}}{\alpha + b * \log k}$$

3. Cauchy'ego

$$T_{new} = \frac{T}{\alpha + b * k}$$

gdzie: T_{new} – nowo wyznaczona temperatura,

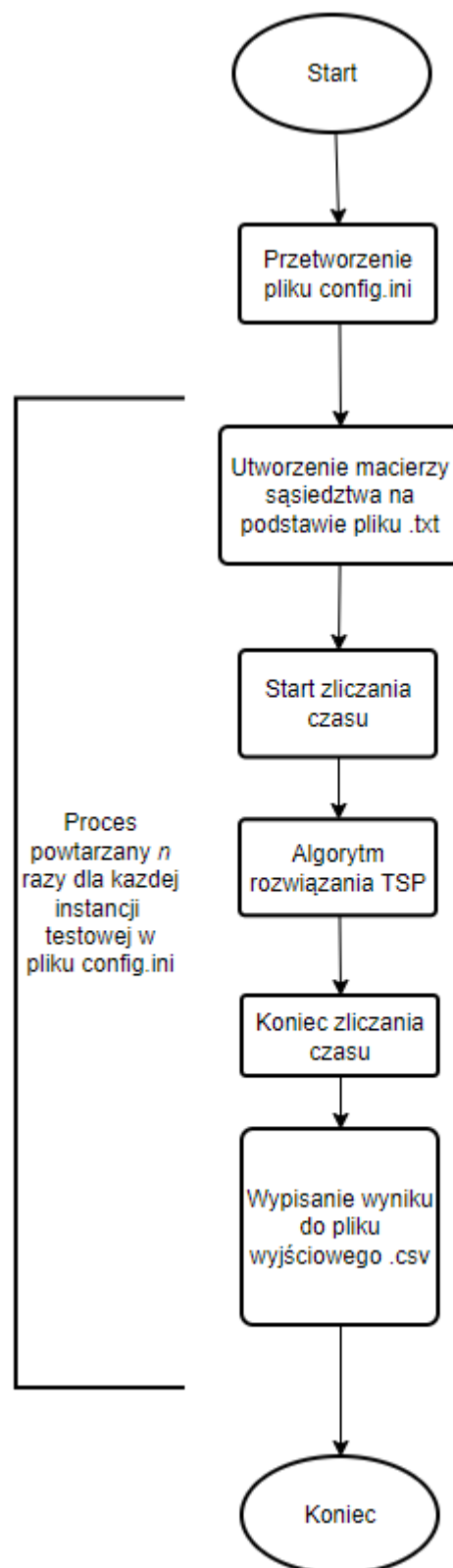
T_{old} – poprzednia temperatura,

α – współczynnik chłodzenia,

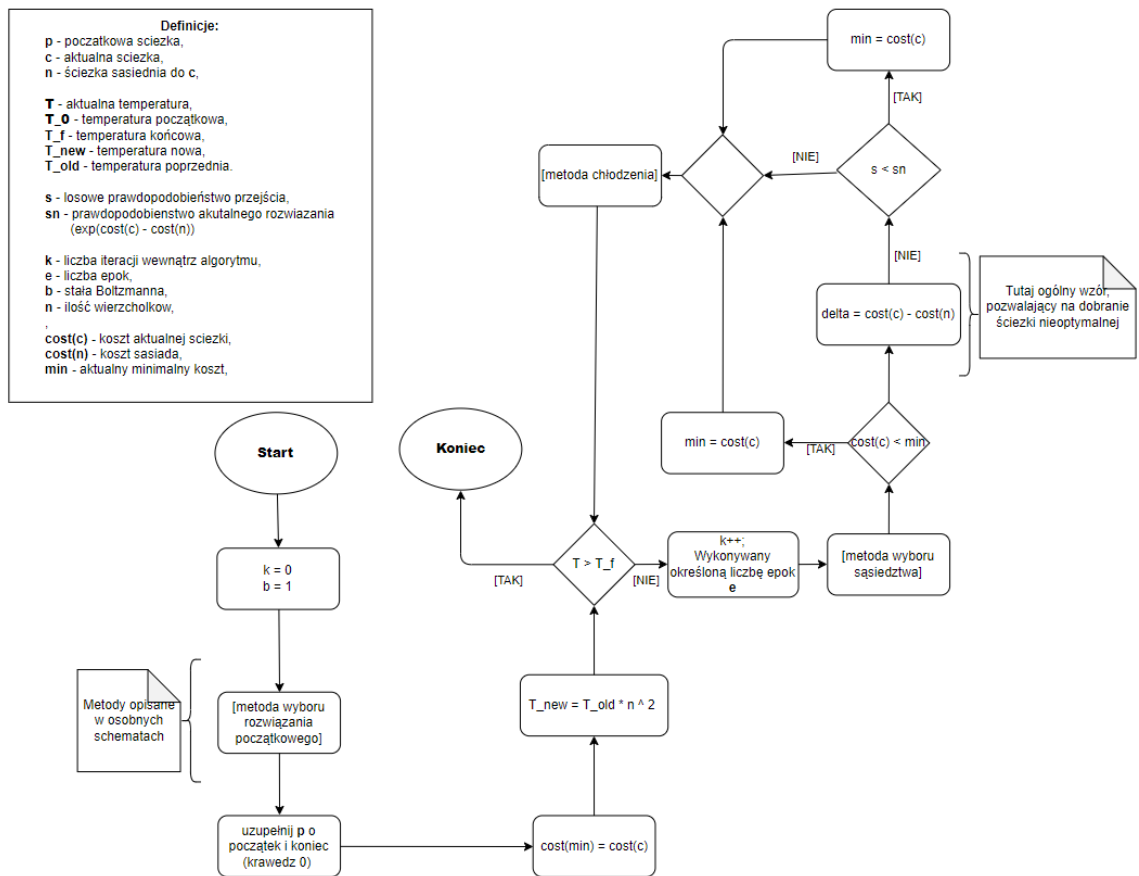
b – stała Boltzmann'a (w założeniu 1),

k – numer iteracji

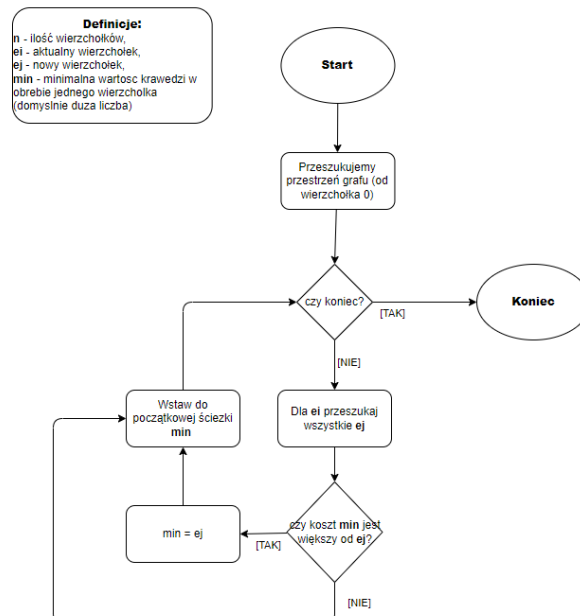
3. Algorytm



Rysunek 2: Ogólny schemat blokowy programu.



Rysunek 3: Schemat blokowy ogólnego działania algorytmu SA.



Rysunek 4: Schemat blokowy metody wyboru rozwiązania początkowego metodą zachłanną.

4. Dane testowe

Przy metodzie Symulowanego Wyżarzania, ustawiamy dodatkowe parametry. Pliki są zaczytywane i przechowywane w formie macierzy sąsiedztwa, należy uwzględnić konkretny format zapisu danej instancji - gdzie w pierwszej linii zawieramy informację o liczbie wierzchołków n , a w następnych liniach pojawia się pełna macierz sąsiedztwa, o zadanym rozmiarze n , zaczytywana po linii. Do wykonania badań wybrano następujący zestaw instancji:

1. tsp_gr21.txt 2707
2. tsp_gr24.txt 1272
3. tsp_bays29.txt 2020
4. atsp_tfv33.txt 1286
5. tsp_45.txt 1272
6. tsp_gr96.txt 55209
7. tsp_gr137.txt 69853
8. tsp_gr202.txt 40160
9. tsp_gr229.txt 134602, <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

5. Procedura badawcza

Należało zbadać wpływ różnych parametrów, na jakość uzyskiwanych rozwiązań (wielkość błędu – będąca różnicą pomiędzy rozwiązaniem uzyskanym i optymalnym), czasu uzyskiwanych rozwiązań oraz zużycia pamięci.

W związku z tym procedura badawcza polegała na uruchomieniu programu sterowanego plikiem inicjującym config.ini (format pliku: nazwa_instancji liczba_wykonań metoda_wyznaczania_rozwiazania_poczatkowego współczynnik_startowy_temperatury końcowa_temperatura współczynnik_chłodzenia liczba_epok metoda_wybierania_sąsiedztwa schemat_chłodzenia rozwiązanie_optymalne; nazwa_pliku_wyjściowego).

```
tsp_gr21.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 2707
tsp_gr24.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
tsp_bays29.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 2707
atsp_tfv33.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
tsp_45.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
atsp_ftv33.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
gr96.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
gr137.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
gr202.txt 10 1 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
gr229.txt 10 1000 0.001 0.99 10 1 1 1272
test.csv
```

Powyższy zapis zawiera przykładową zawartość pliku config.ini, poszczególne parametry były zmieniane.

Każda instancja została uruchomiona 10 krotnie, aby uzyskać zestaw wyników do analizy, następnie wyznaczono z nich średnią która była brana do dalszej analizy. Wykluczenie konkretnych wyników i dalsza analiza została przeprowadzona w programie MS Excel, wraz z tworzeniem wykresu.

Podczas procedury badawczej testowana po kolei parametry:

1. Metodę doboru rozwiązania początkowego

- a. Losowo
- b. Zachłannie

2. Współczynnik chłodzenia.

- a. $\alpha = 0.99$
- b. $\alpha = 0.999$
- c. $\alpha = 0.9999$
- d. $\alpha = 0.99999$

3. Metodę doboru sąsiedztwa.

- a. Swap
- b. Insert
- c. Invert

4. Schemat chłodzenia

- a. Geometryczny
- b. Boltzmann'a
- c. Cauchy'ego

Otrzymane wyniki zostały zestawione; ze szczególnym przypadkiem przy badaniu Schematów chłodzenia – tam wynik schematu geometrycznego jest przedstawiony osobno od schematów Boltzmann'a i Cauchy'ego.

Na samym końcu pliku wynikowego musi być koniecznie znak nowej linii, aby mieć łatwy dostęp do odczytu nazwy pliku wyjściowego. W celu elastycznego odczytywania z pliku config.ini ów nazwy pliku.

Poniżej przedstawiony fragment zawartości pliku wyjściowego, nagłówki zawierają: nazwę instancji, ilość wykonań, oraz ścieżkę optymalną – a każdy element pod nagłówkiem – średni_czas; ścieżkę_minimalną:

tsp_gr21.txt 20 2707;

0.0116201;3286

0.0117257;3287

...

tsp_gr24.txt 20 1272;

0.0141578;1512

0.0123958;1550 ...

tsp_bays29.txt 20 2020;

0.0142421;2233

0.0126061;2369

...

Tabela 1: Specyfikacja sprzętowa.

Windows 10 Pro N (v 10.0.19045)
Procesor Intel Core i3-8100 CPU @ 3.60 GHz
16 GB RAM

W celu przeprowadzenia jak najbardziej wydajnych pomiarów, testy przeprowadzone w środowisku konsolowym, bez debugowania (bezpośrednio uruchomiony plik main.exe), bez niepotrzebnych programów w tle.

Schemat procedury badawczej: wykorzystywana własna funkcja *testbench*, wywoływana dla każdej instancji w pliku config.ini (określoną *n* liczbę razy, *w*), w której uruchamiane są funkcje do liczenia czasu, oraz osobno funkcje do wypisywania do pliku wyjściowego (takie rozróżnienie podfunkcji w *testbench* jest bardzo ważne, ze względu na to, aby podczas zliczania czasu nie brać pod uwagę wpisywania do pliku).

Wykorzystujemy udostępniony w bibliotece systemowej *Win32 (profileapi.h)* funkcję *QueryPerformanceFrequency (QPF)* – funkcje zwracającą częstotliwość licznika wydajności. Częstotliwość licznika wydajności jest ustalona podczas uruchamiania systemu i jest spójna dla wszystkich procesorów.

Funkcja ta zlicza taktowanie zegara. Podczas testów w pętli głównej, zagnieźdźmy wywołanie funkcji rozwiązania SA pomiędzy funkcje *StartCounter()* oraz *GetCounter()* (funkcje zbudowane na podstawie QPF).

Następnie w zależności od potrzeb bądź/lub otrzymywanych wyników skaluje się odpowiednią zmienną aby otrzymać wyniki w odpowiedniej precyzji, w tym zadaniu skalujemy PCFreq do sekund czyli zapis: $PCFreq = \text{double}(\text{li.QuadPart})/1000$; zwraca nam czas w milisekundach.

Testy dla złożoności pamięciowej będą przeprowadzone na jednej, największej instancji, ponieważ już z samej teorii wynika, że głównie będziemy przechowywać ścieżkę – program pamięciowo nam nie będzie dynamicznie zapełniał pamięci (jak to było w przypadku Helda-Karpa).

6. Wyniki

Wyniki zgromadzone zostały w plikach: wyniki.csv. Wyniki przedstawione zostały w postaci wykresu zależności czasu uzyskania rozwiązania problemu od wielkości instancji (rysunek 3).

6.1. Metoda doboru rozwiązania początkowego

Tabela 2: Pozostałe ustawienia podczas testów metod doboru rozwiązania początkowego.

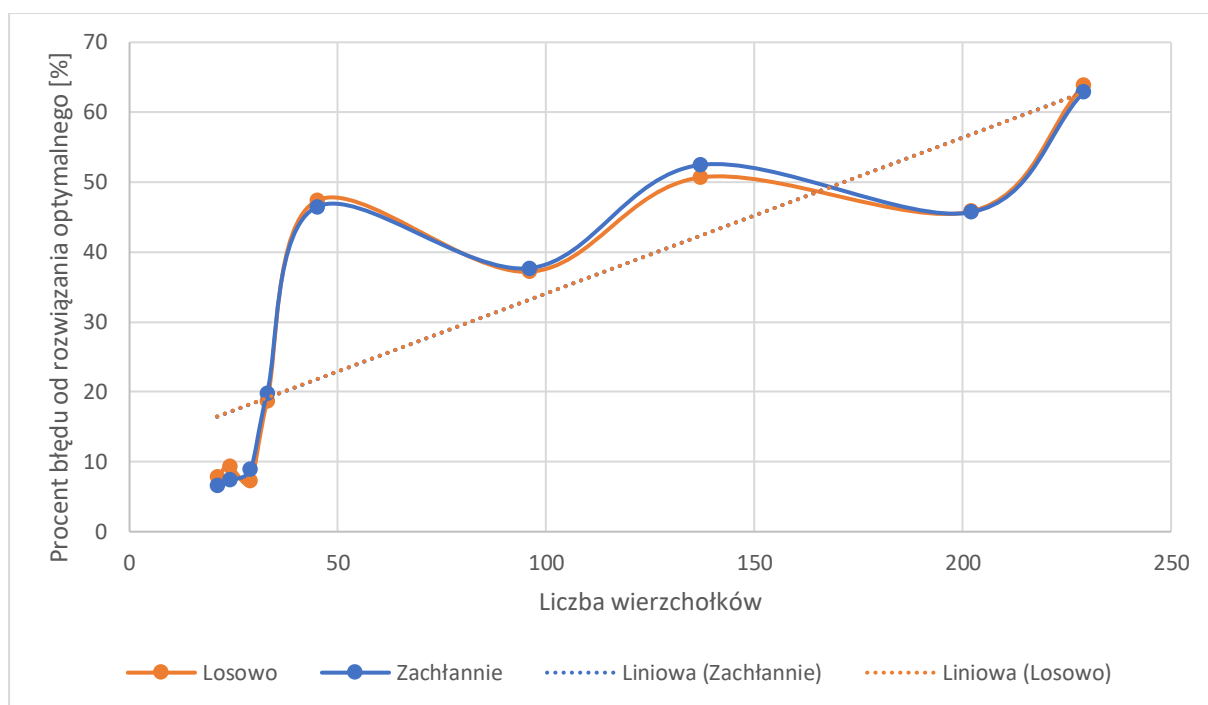
Współczynnik temperatury początkowej	Temperatura końcowa	Współczynnik chłodzenia	Długość epoki	Dobór sąsiedztwa	Schemat chłodzenia
1000	0.001	0.99	10	swap	geometryczny

Tabela 3: Wyniki dla generowania rozwiązania startowego metodą losową.

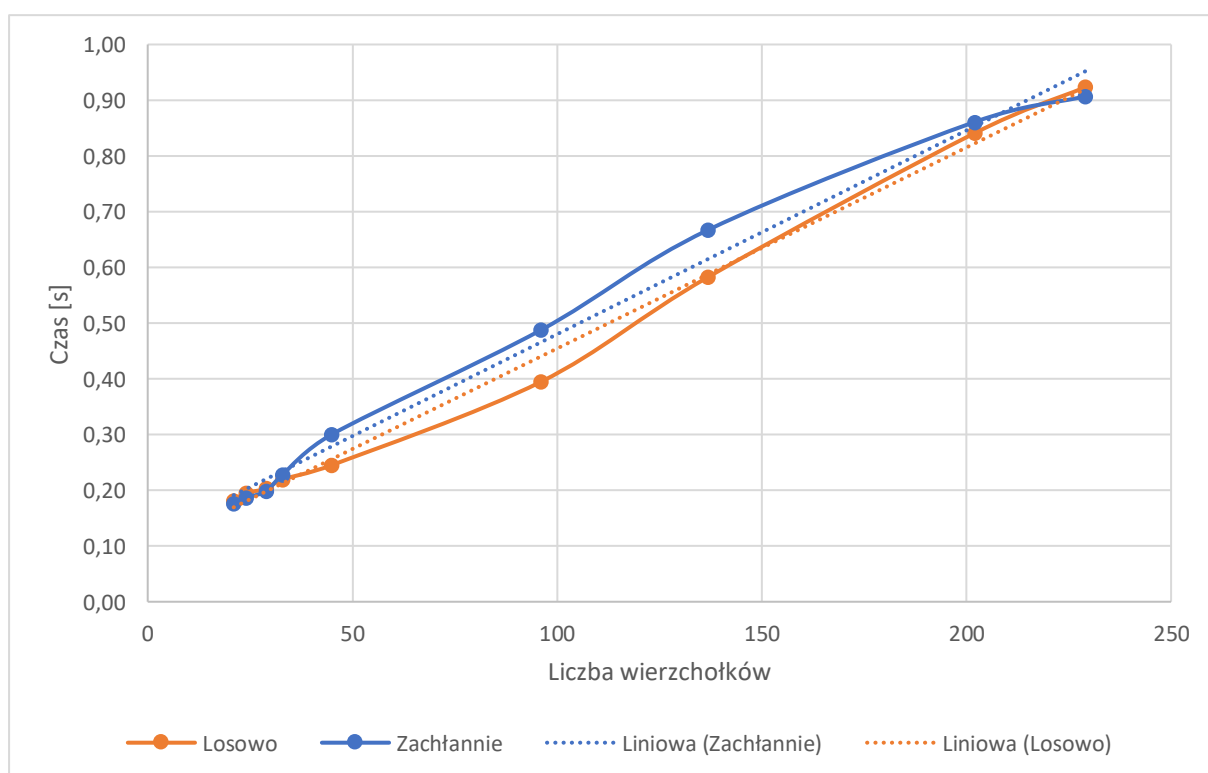
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2928,05	1397,15	2171,35	1550,3	2061,6	80426,65	117253,85	64021,95	261043,25
Błąd [%]	7,84	9,37	7,22	18,63	47,37	37,18	50,66	45,80	63,91
Czas [s]	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24	0,39	0,58	0,84	0,92

Tabela 4: Wyniki dla generowania rozwiązania startowego metodą zachłanną.

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2893,2	1369,5	2207,9	1568,6	2042,2	80854,65	119529,4	63946,4	258059,3
Błąd [%]	6,65	7,38	8,89	19,80	46,48	37,70	52,46	45,70	62,88
Czas [s]	0,18	0,19	0,20	0,23	0,30	0,49	0,67	0,86	0,91



Rysunek 5: Wykresy różnicy od rozwiązania optymalnego w oparciu o użytą metodę generowania rozwiązania startowego.



Rysunek 6: Wykresy zależności czasu od metody generowania rozwiązania startowego.

6.2. Współczynnik chłodzenia

Tabela 5: Pozostałe ustawienia podczas testów współczynnika chłodzenia.

Dobór pierwszego rozwiązania	Współczynnik temperatury początkowej	Temperatura końcowa	Długość epoki	Dobór sąsiedztwa	Schemat chłodzenia
Losowo	1000	0.001	10	swap	geometryczny

Tabela 6: Wyniki dla współczynnika $\alpha = 0.99$

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	3178,20	1451,60	2339,20	1712,20	2259,30	100236,10	165796,00	91191,10	407648,95
Błąd [%]	16,01	13,19	14,64	28,43	55,92	57,93	81,43	77,70	100,71
Czas [s]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08

Tabela 7: Wyniki dla współczynnika $\alpha = 0.999$

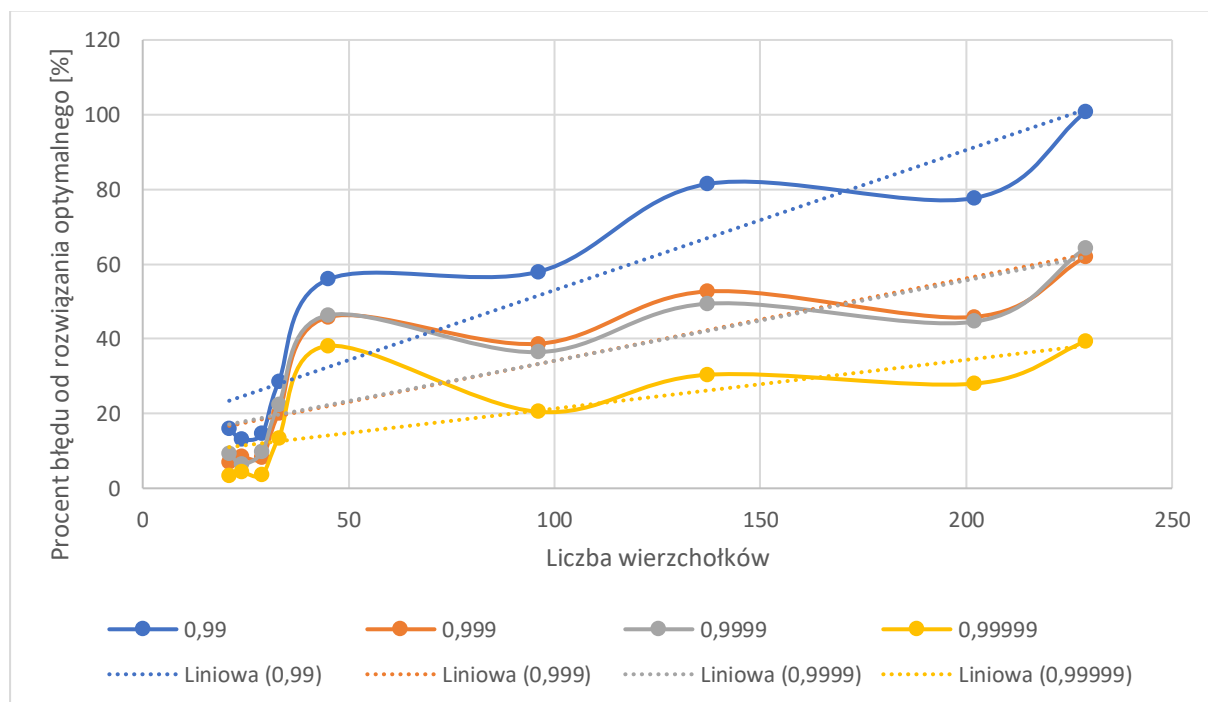
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2901,45	1383,15	2194,90	1573,15	2028,20	81690,40	119810,05	64068,15	255331,05
Błąd [%]	6,93	8,37	8,30	20,09	45,83	38,69	52,68	45,88	61,92
Czas [s]	0,18	0,18	0,20	0,21	0,24	0,39	0,50	0,71	0,92

Tabela 8: Wyniki dla współczynnika $\alpha = 0.9999$

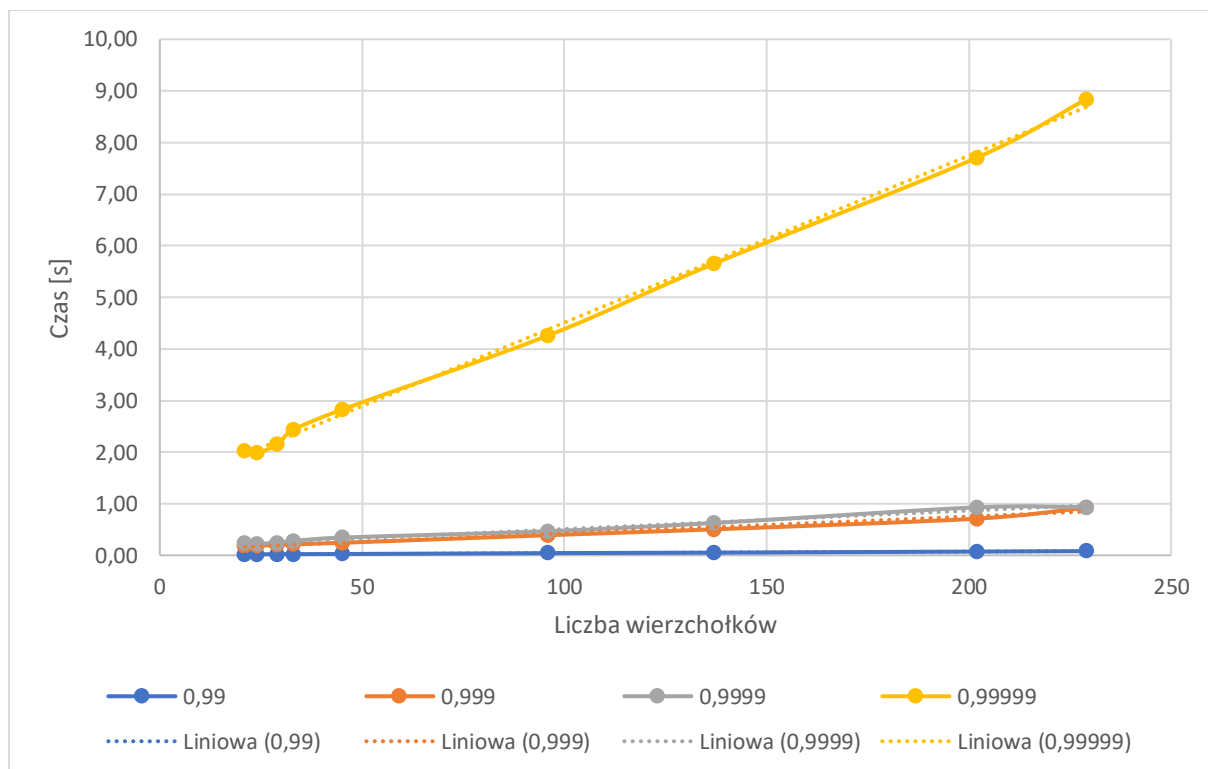
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2973,2	1357,7	2227,6	1610,2	2039,1	79814,6	115677,1	63216,35	261992,1
Błąd [%]	9,372909	6,517854	9,774932	22,38796	46,33505	36,44637	49,39798	44,60662	64,24204
Czas [s]	0,234092	0,226338	0,24116	0,279262	0,343947	0,466736	0,626299	0,929493	0,933747

Tabela 9: Wyniki dla współczynnika $\alpha = 0.99999$

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2798,25	1328,30	2094,25	1471,30	1870,90	67801,50	94873,30	53246,20	200478,40
Błąd [%]	3,32	4,33	3,61	13,44	38,11	20,47	30,38	28,02	39,32
Czas [s]	2,02	1,99	2,15	2,44	2,82	4,26	5,65	7,71	8,84



Rysunek 7: Wykresy różnicy od rozwiązania optymalnego w oparciu o użyty współczynnik chłodzenia.



Rysunek 8: Wykresy zależności czasu od metody generowania rozwiązania startowego.

6.3. Metoda doboru sąsiedztwa

Tabela 10: Pozostałe ustawienia podczas testów metod doboru sąsiedztwa.

Dobór pierwszego rozwiązania	Współczynnik temperatury początkowej	Temperatura końcowa	Współczynnik chłodzenia	Długość epoki	Schemat chłodzenia
Losowo	1000	0.001	0.99	10	geometryczny

Tabela 11: Wyniki dla metody swap.

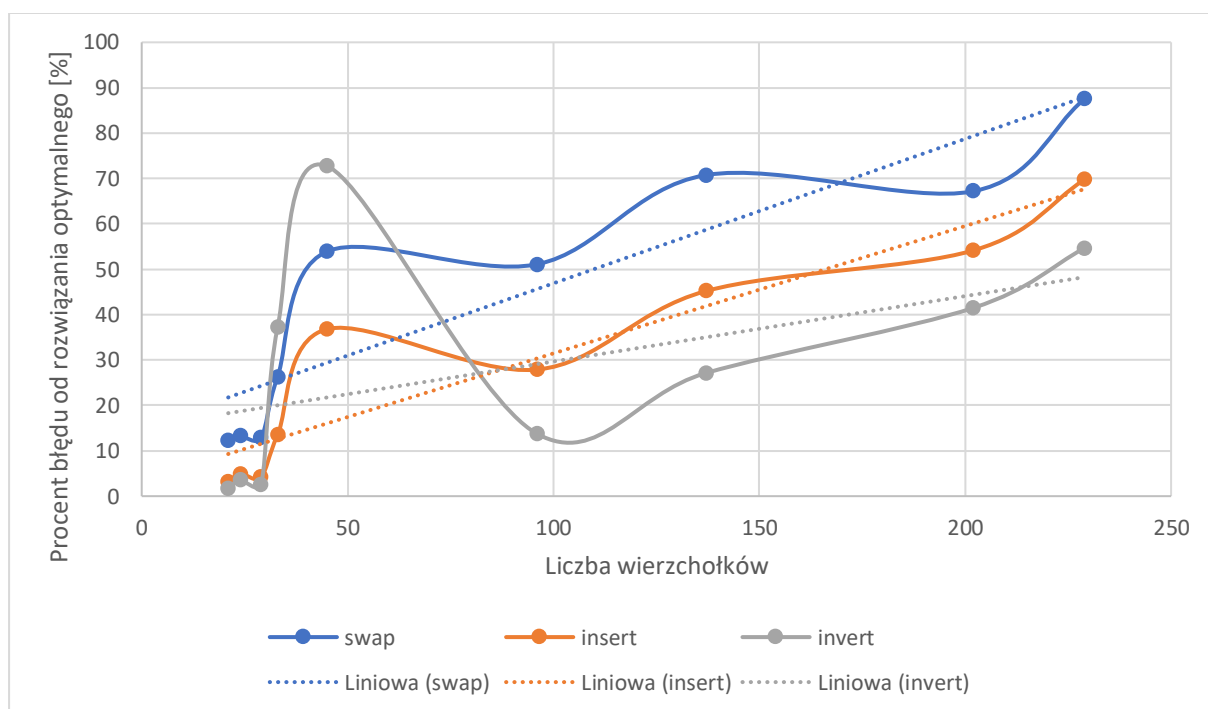
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	3063,40	1452,20	2299,25	1675,85	2210,60	93092,10	146312,05	80792,30	344152,00
Błąd [%]	12,35	13,23	12,93	26,32	53,90	51,09	70,74	67,19	87,54
Czas [s]	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,10	0,14	0,16

Tabela 12: Wyniki dla metody insert.

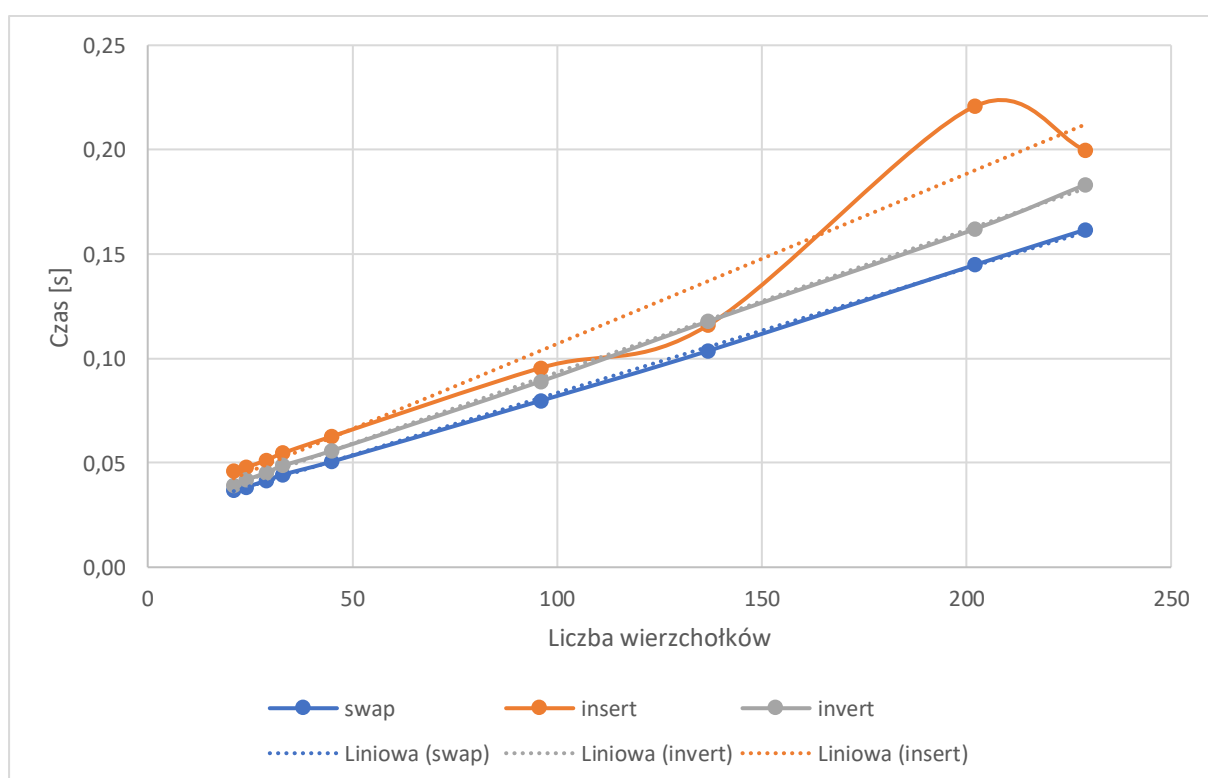
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2793,85	1336,35	2106,20	1472,50	1845,65	73096,70	110622,25	69979,80	278807,40
Błąd [%]	3,16	4,93	4,18	13,52	36,80	27,88	45,18	54,15	69,76
Czas [s]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	0,12	0,22	0,20

Tabela 13: Wyniki dla metody invert.

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	2751,30	1319,90	2073,90	1873,05	2725,70	63362,30	91772,60	61183,40	235887,50
Błąd [%]	1,62	3,70	2,63	37,17	72,73	13,75	27,12	41,49	54,68
Czas [s]	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,09	0,12	0,16	0,18



Rysunek 9: Wykresy różnicy od rozwiązania optymalnego w oparciu o użyty współczynnik chłodzenia.



Rysunek 10: Wykresy zależności czasu od metody doboru sąsiedztwa.

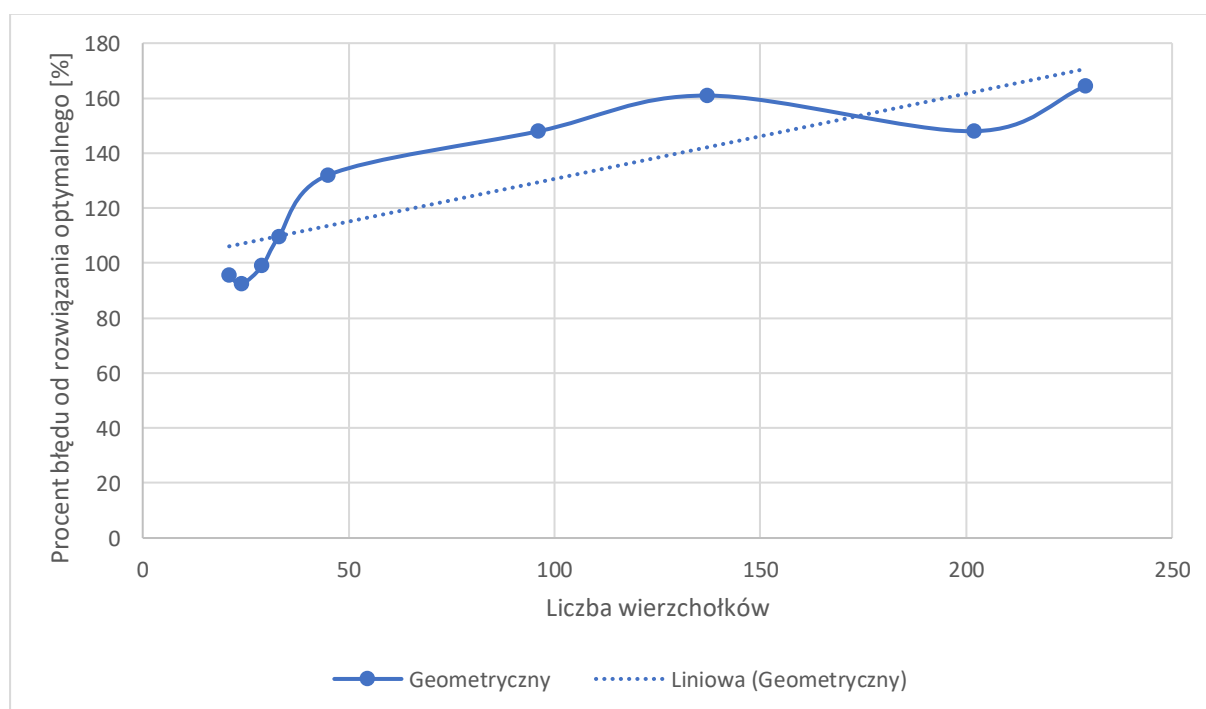
6.4. Schematy chłodzenia

Tabela 14: Pozostałe ustawienia podczas testów schematów chłodzenia dla chłodzenia geometrycznego.

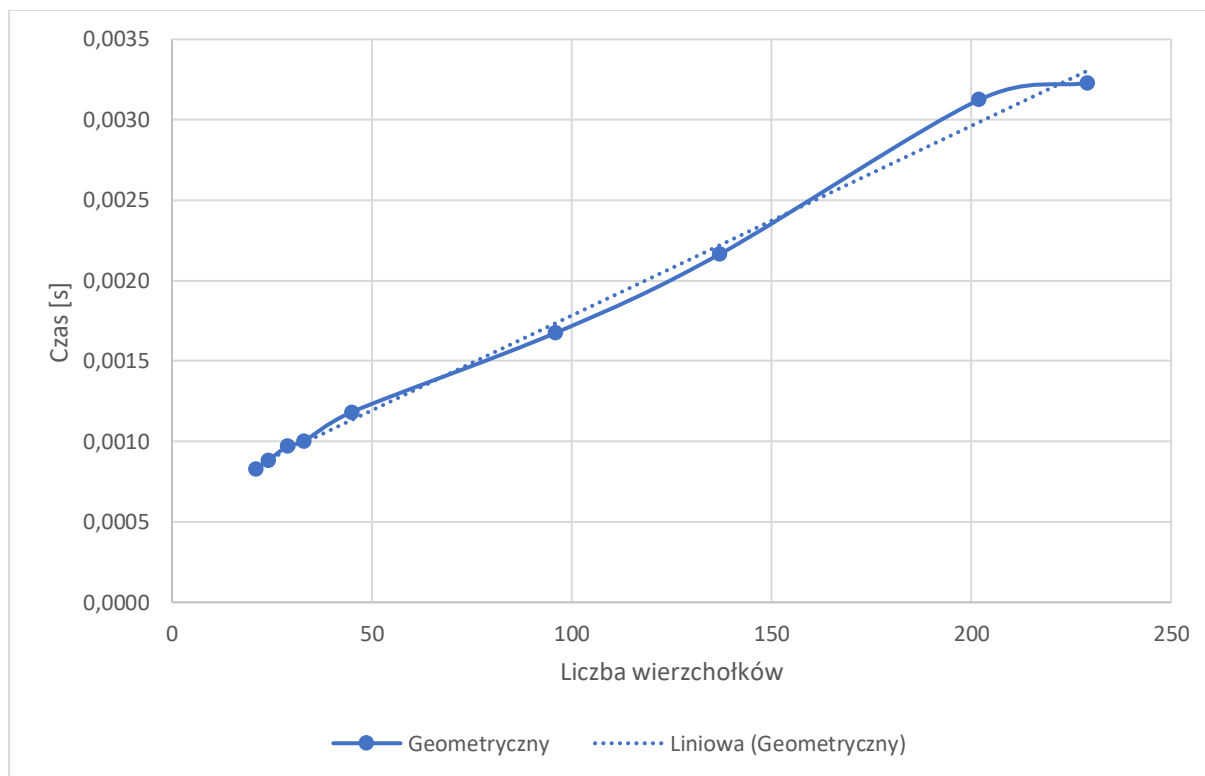
Dobór pierwszego rozwiązania	Współczynnik temperatury początkowej	Temperatura końcowa	Współczynnik chłodzenia	Długość epoki	Dobór sąsiedztwa
Losowo	1000	0.001	0.99	10	swap

Tabela 15: Wyniki dla schematu chłodzenia Geometrycznego.

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	7649,2	3459,8	5973,4	4391,5	6211,3	368860,6	645395,7	268618,7	1375260
Błąd [%]	95,44427	92,47221	98,91661	109,3967	132,0086	147,9246	160,935	147,9757	164,3406
Czas [s]	0,000827	0,00088	0,000972	0,001	0,001183	0,001675	0,002164	0,003124	0,003228



Rysunek 11: Wykresy różnicy od rozwiązania optymalnego w oparciu o użyty schemat chłodzenia.



Rysunek 12: Wykresy zależności czasu od schematu chłodzenia.

Tabela 16: Pozostałe ustawienia podczas testów schematów chłodzenia dla chłodzenia Boltzmann'a i Cauchy'ego.

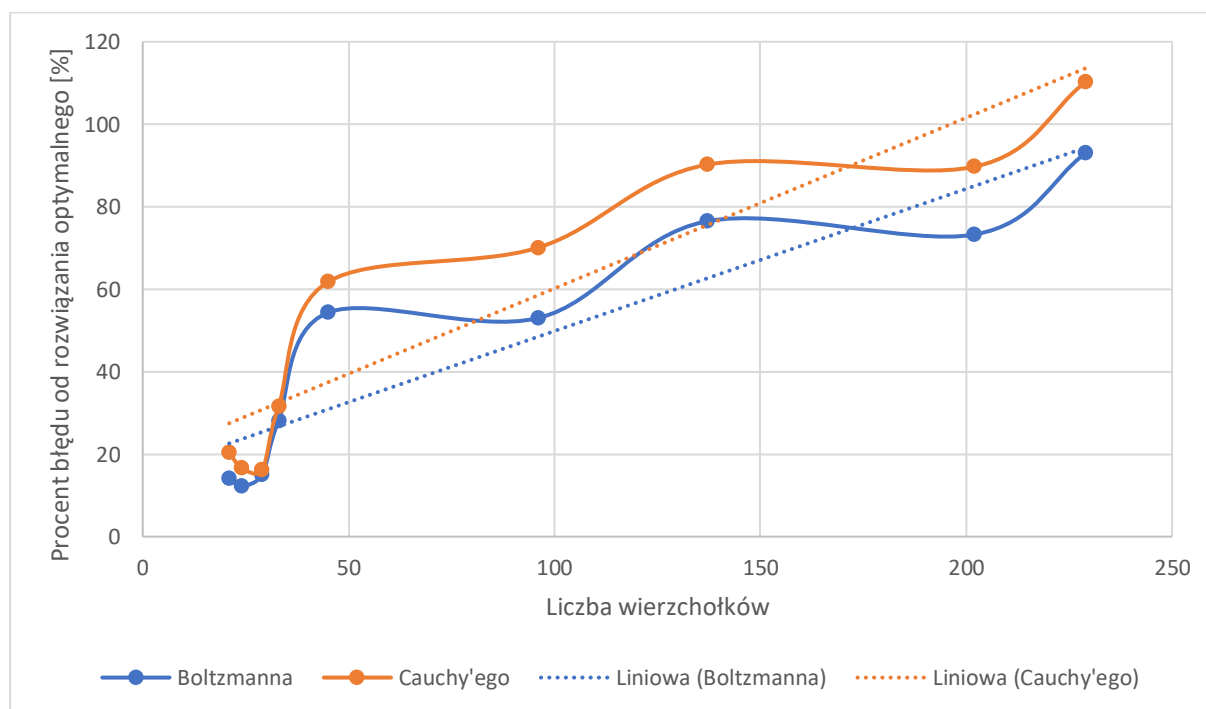
Dobór pierwszego rozwiązania	Współczynnik temperatury początkowej	Temperatura końcowa	Współczynnik chłodzenia	Długość epoki	Dobór sąsiedztwa
Losowo	100000	0,00001	0,999999	1000	1

Tabela 17: Wyniki dla schematu chłodzenia Boltzmann'a.

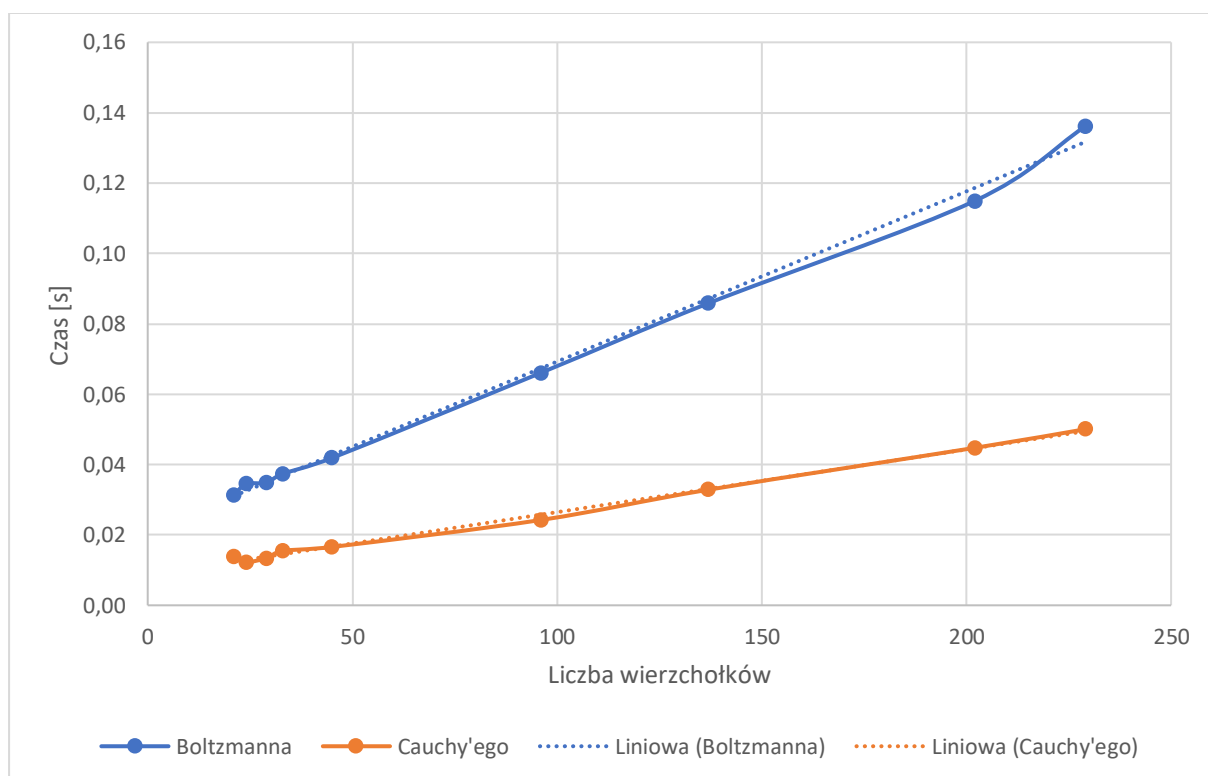
Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	3116,35	1438,4	2350,55	1707,15	2220,6	95017	156329,8	86587,25	368528,8
Błąd [%]	14,05892	12,27863	15,12624	28,14092	54,32056	52,99748	76,46629	73,25958	92,98846
Czas [s]	0,031214	0,034444	0,03486	0,037394	0,04187	0,066046	0,085854	0,11491	0,136093

Tabela 18: Wyniki dla schematu chłodzenia Cauch'ego.

Wielkość instancji	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Średnia długość ścieżki	3321,95	1503,35	2376,55	1768,7	2408,65	114742,3	184587,3	105474,8	465387,1
Błąd [%]	20,3999	16,67177	16,21954	31,60376	61,76355	70,05921	90,18563	89,69666	110,2637
Czas [s]	0,013701	0,012276	0,013413	0,015503	0,016584	0,024242	0,032855	0,044744	0,050036



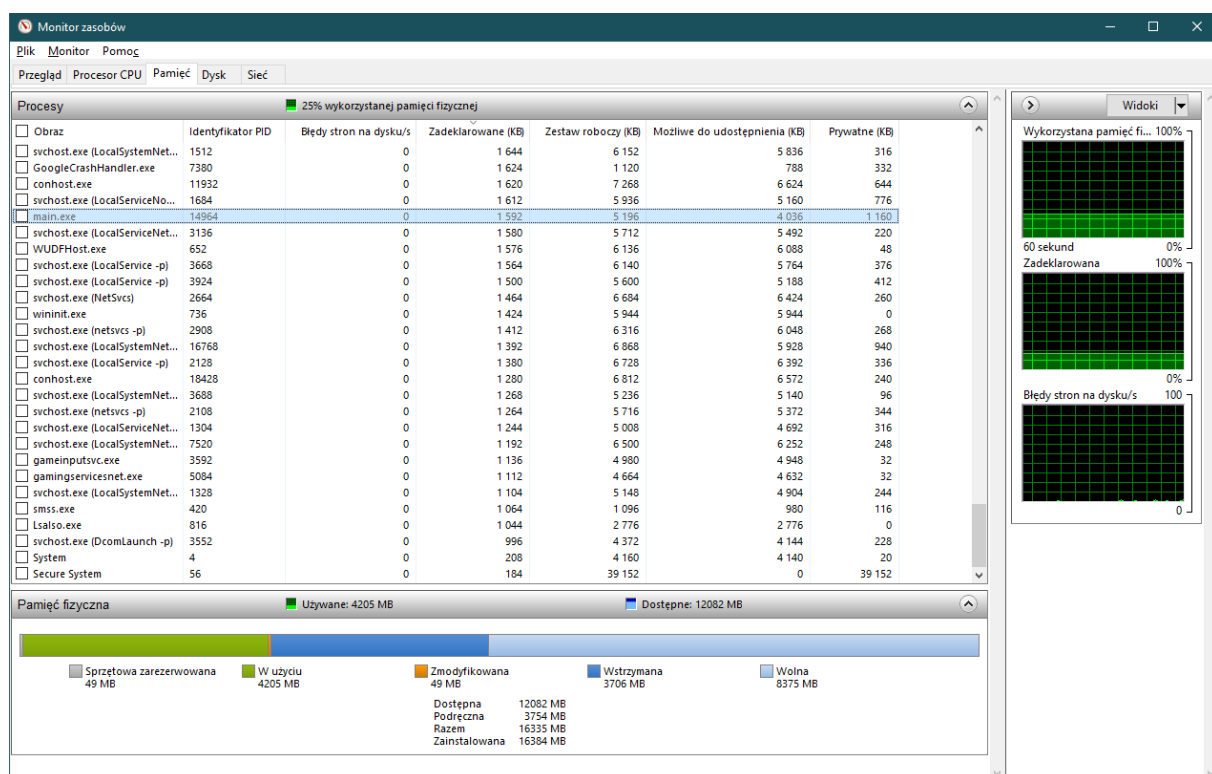
Rysunek 13: Wykresy różnicy od rozwiązania optymalnego w oparciu o użyty schemat chłodzenia.



Rysunek 14: Wykresy zależności czasu od schematu chłodzenia.

6.5. Złożoność pamięciowa

gr229.txt 200 1 1000 0.001 0.999 1 1 1 134602



Rysunek 15: Zrzut ekranu z monitora zasobów.

7. Analiza wyników i wnioski

Symulowane wyżarzanie może być zrealizowane na wiele różnych sposobów. Od różnych warunków stopu, przez różne sposoby na wyznaczanie rozwiązania początkowego. Jak można było zauważyć na testach, mimo próby strojenia, najlepsze efekty (z najmniejszym błędem) można zauważyć przy testowaniu invert'a, dlatego też głównie w testach pozostałe ustawienia są w miarę jednolite, żeby przeszukać dla podanego zestawu danych najbardziej optymalne „wystrojenie”.

Również jak widać w podpunkcie 6.1 – w przypadku generowania startowego rozwiązania - wpływ rozwiązania bardziej optymalnego lokalnie, tworzonego metodą zachłanną przy podanych parametrach nie ma aż tak dużego benefitu, w porównaniu z rozwiązaniem losowym.

W przypadku testowania schematów chłodzenia, schemat geometryczny został rozdzielony od innych przez to, jak długo zajmuje mu przejście przy współczynniku chłodzenia równym 0.999. Gdy pozostałe – Boltzmann i Cauchy, pikują szybciej w dół do warunku stopu.

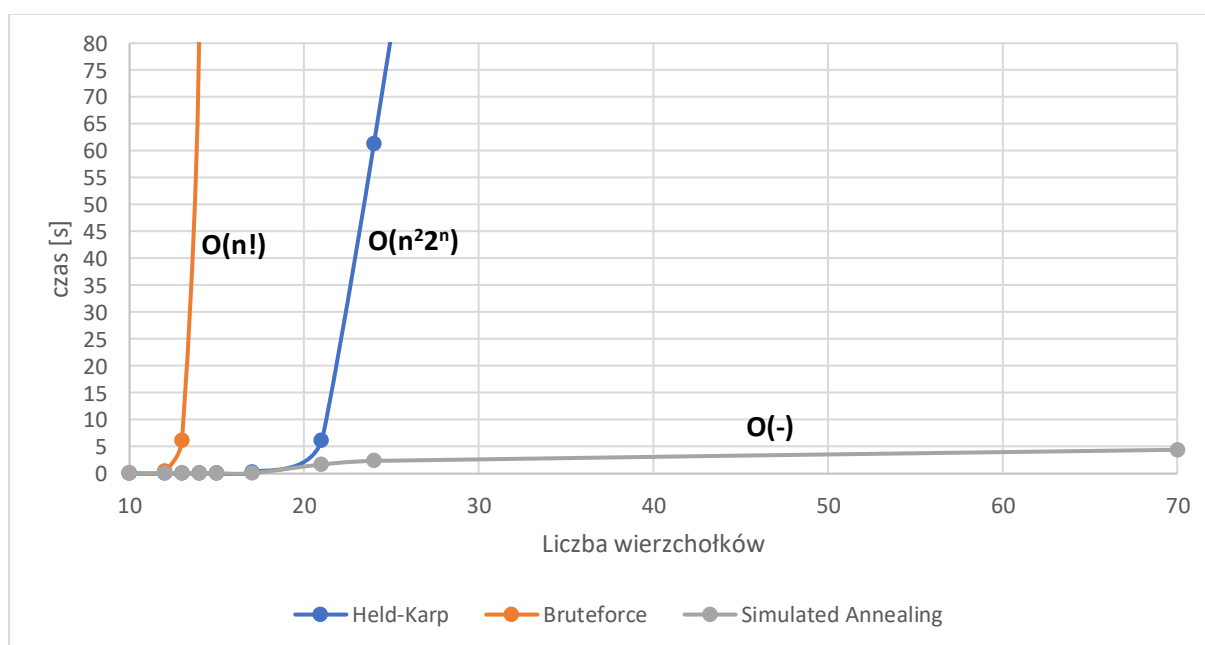
Za to złożoność pamięciowa, jak widać w podpunkcie 6.2 jest znikoma. Głównie co jest wykorzystywane w tym wypadku, to wielkość instancji, a raczej ścieżka (cykl Hamiltona) zapisywany, co było już w poprzednich algorytmach również.

8. Dodatek

Porównując poprzednie algorytmy, szybko można zauważyć, że Symulowane wyżarzanie nie ma określonej książkowej złożoności czasowej. Zestawiając je, z poprzednimi algorytmami pominąłem oznaczenia notacji dużego O dla SA.

Tabela 19: Średnie pomiarów czasu w sekundach dla Helda-Karpa, Bruteforce i Simulated Annealing.

	21	24	29	33	45	96	137	202	229
Bruteforce	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,30	6,10	61,38	1000,00
Held-Karp	0,00	0,48	6,23	87,18	1307,67	355687,43
SA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	1,70	2,36	4,43



Rysunek 16: Wykresy zależności czasu od liczby wierzchołków dla TSP Bruteforce, Held-Karpa i SA.

Zestawiając SA z poprzednimi algorytmami, znów można zauważyć wzrost, tym razem jest on o wiele większy. Jednak trzeba brać pod uwagę, że podana instancja „stroilem” do momenty pojawienia się w zestawie danych, przynajmniej jednego rozwiązania rzędu błędu 0% - czyli jego braku.

SA jest też zatem kolejnym sposobem rozwiązania jeszcze większych instancji TSP, testowane było dla instancji wielkości 200, jednak bez problemu można rozwiązać instancje rzędu 500 i trochę ponad.