



**Wydział Matematyki  
i Nauk Informatycznych**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

## Zastosowanie algorytmu mrówkowego do CVRP - prezentacja wyników

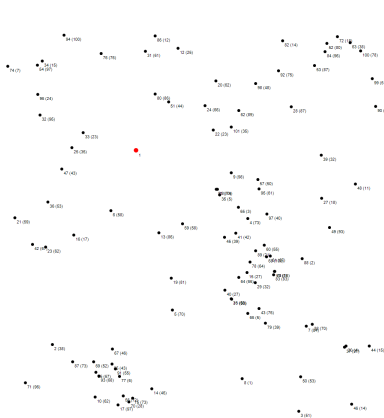
Jan Szablanowski

07.04.2025

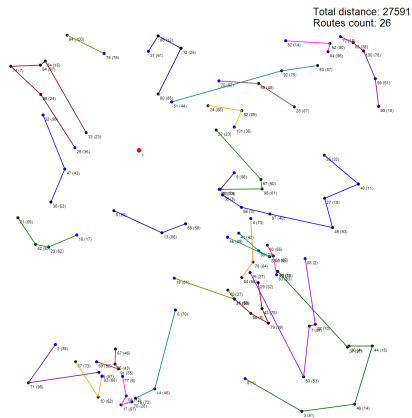
# Problem CVRP

- Pojazdy dostarczają towary do klientów z jednego magazynu
- Każdy pojazd ma ograniczoną pojemność
- Klienci mają różne zapotrzebowanie na towary
- Każdy klient musi być odwiedzony dokładnie raz
- Celem jest minimalizacja całkowitego kosztu tras

# Przykład CVRP



Rysunek 1: Instancja X-n101-k25



Rysunek 2: Optymalne rozwiązanie

# Testowane algorytmy

- 1 Algorytm mrówkowy (Ant Colony Optimization - ACO) [1]
- 2 Algorytm mrówkowy z heurystyką 2-opt [2]
- 3 Algorytm mrówkowy z modyfikacją Max-Min (Max-Min ant system - MMAS) [3]
- 4 Algorytm zachłanny (Greedy algorithm)

## Parametry algorytmów ACO i ACO 2-opt

- liczba mrówek = liczba wierzchołków
- liczba iteracji = 100
- współczynnik wpływu feromonu  $\alpha = 1.0$
- współczynnik wpływu heurystyki (odległości)  $\beta = 5.0$
- współczynnik parowania feromonu *EvaporationRate* = 0.2
- współczynnik dodawania feromonu  $Q = 10$
- początkowa ilość feromonu *InitialPheromone* = 0.1

# Parametry algorytmu MMAS

- minimalna ilość feromonu  $PheromoneMin = 0.01$
- maksymalna ilość feromonu  $PheromoneMax = 10$
- początkowa ilość feromonu  $InitialPheromone = 10$
- limit stagnacji (maksymalna liczba iteracji bez poprawy)  
 $StagnationLimit = 20$

# Hipoteza 1

*Algorytm mrówkowy z heurystyką 2-opt znajduje trasy o co najmniej 10% mniejszym koszcie w porównaniu do klasycznego algorytmu mrówkowego.*

**Wynik: Częściowo potwierdzona dla dużych instancji.**

# Heurystyka 2-opt

- heurystyka lokalna (ulepsza pojedynczą trasę po jej wyznaczeniu przez kroki algorytmu mrówkowego)
- główna idea – zmiana kolejności odwiedzania klientów w trasie, żeby nie było przecięć tras
- heurystyka jest stosowana również w klasycznym TSP



# Heurystyka 2-opt – przykład

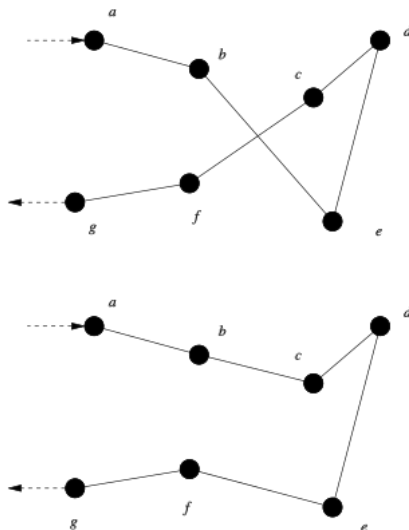
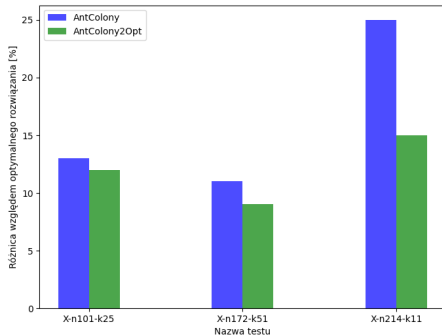
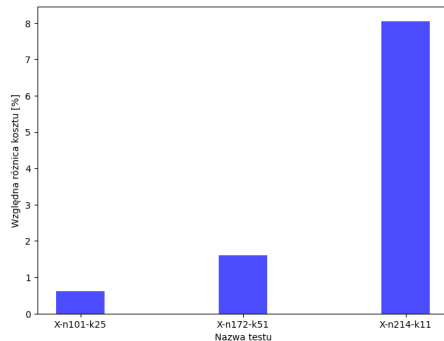


Image credit: PierreSelim, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

# Wyniki eksperymentów



**Rysunek 3:** Długość rozwiązania ACO i ACO 2-opt względem optymalnego



**Rysunek 4:** O ile procent AntColony2Opt jest lepszy od AntColony?

## Hipoteza 2

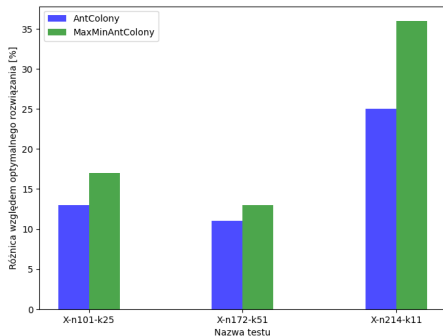
*Algorytm mrówkowy z modyfikacją Max-Min znajduje rozwiązanie o koszcie nie większym niż 5% od kosztu rozwiązania znalezioneego przez klasyczny algorytm mrówkowy, ale potrzebuje do tego o 10% mniejszej liczby pojazdów.*

**Wynik: Odrzucona.**

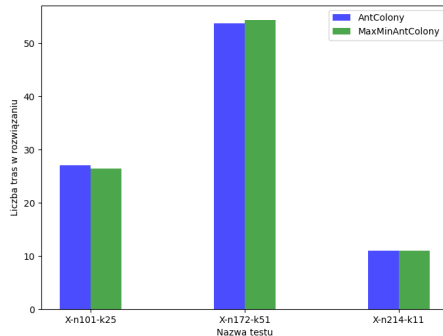
# Heurystyka MAX-MIN

- zmiana sposobu aktualizacji feromonu
- feromon na krawędzi jest aktualizowany tylko przez najlepszą mrówkę w danej iteracji lub globalnie
- feromon na krawędzi jest ograniczony przez wartości *PheromoneMin* i *PheromoneMax*
- przy braku poprawy przez pewną liczbę iteracji, algorytm resetuje feromon na krawędziach
- celem jest zwiększenie jakości rozwiązań (eksploatacja)

# Wyniki eksperymentów



Rysunek 5: Długość rozwiązania ACO i MMAS względem optymalnego



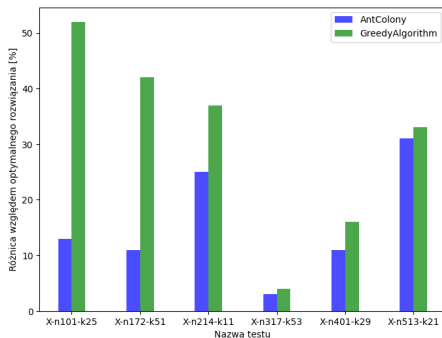
Rysunek 6: Liczba tras dla ACO i MMAS

## Hipoteza 3

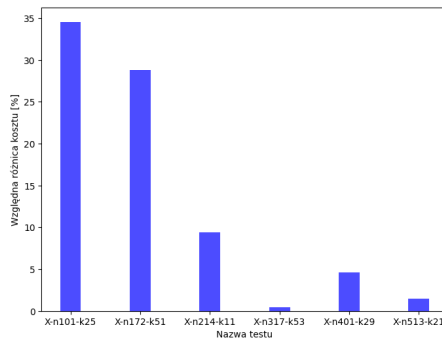
*Procentowa różnica kosztów wyznaczonych tras między algorytmem zachłannym i klasycznym algorytmem mrówkowym rośnie wraz ze wzrostem liczby klientów na niekorzyść algorytmu zachłannego.*

**Wynik: Odrzucona. Potwierdzono hipotezę odwrotną.**

# Wyniki eksperymentów



Rysunek 7: Długość rozwiązania ACO i Greedy względem optymalnego



Rysunek 8: O ile procent ACO jest lepszy od Greedy?

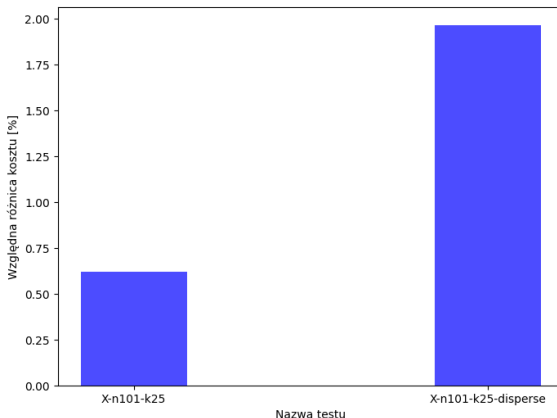
## Hipoteza 4

*Procentowa różnica kosztów wyznaczonych tras między algorytmem mrówkowym z heurystyką 2-opt i klasycznym algorytmem mrówkowym rośnie wraz ze wzrostem rozproszenia klientów (mierzonego średnią odległością klientów od magazynu) na niekorzyść klasycznego algorytmu.*

**Wynik: Potwierdzona.**



# Wyniki eksperymentów



**Rysunek 9:** O ile procent AntColony2Opt jest lepszy od AntColony dla różnej wartości rozproszenia klientów?

# Wnioski

- Algorytm mrówkowy z heurystyką 2-opt osiąga najlepsze wyniki pod względem kosztu rozwiązań
- Modyfikacja Max-Min nie przyniosła oczekiwanych korzyści względem klasycznego algorytmu mrówkowego
- Różnica między algorytmem zachłannym a mrówkowym zaskakująco maleje wraz ze wzrostem problemu
- Zastosowanie heurystyki 2-opt jest szczególnie efektywne dla problemów z dużym rozproszeniem klientów

# Bibliografia I

- [1] Marco Dorigo, Mauro Birattari, and Thomas Stützle.  
Ant colony optimization.  
*Computational Intelligence Magazine, IEEE*, 1:28–39, 12 2006.
- [2] W.F. Tan, Lai Soon Lee, Zanariah Abdul Majid, and Hsin-Vonn Seow.  
Ant colony optimization for capacitated vehicle routing problem.  
*Journal of Computer Science*, 8:846–852, 01 2012.
- [3] Thomas Stützle and Holger Hoos.  
Max-min ant system.  
16, 11 1999.

## Bibliografia II

- [4] Eduardo Uchoa, Diego Pecin, Artur Pessoa, Marcus Poggi, Thibaut Vidal, and Anand Subramanian.  
New benchmark instances for the capacitated vehicle routing problem.  
*European Journal of Operational Research*, 257, 08 2016.
- [5] Jan Lenstra and A. Kan.  
Complexity of vehicle routing and scheduling problems.  
*Networks*, 11:221 – 227, 10 2006.
- [6] Project code repository.  
<https://github.com/r-ost/MSI2-ants>.