

Zastosowanie  
populacyjnych metaheurystyk  
uwzględniających rozkład danych problemu  
do rozwiązywania  
problemu dynamicznej marszrutyzacji

Warszawa, 8. lutego 2017

mgr inż. Michał Okulewicz

Promotor: prof. dr hab. inż. Jacek Mańdziuk





# Plan prezentacji

Problem dynamicznej marszrutyzacji (DVRP)

Cele rozprawy

Algorytm ContDVRP

- Proces optymalizacji

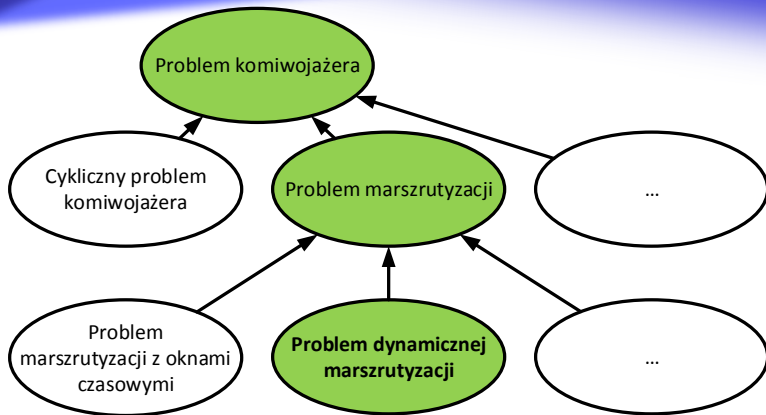
- Kluczowe komponenty

- Wyniki

Podsumowanie



# Hierarchia problemów transportowych

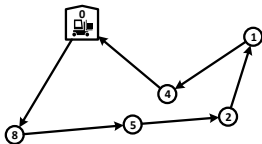




# Problem komiwojażera (TSP)



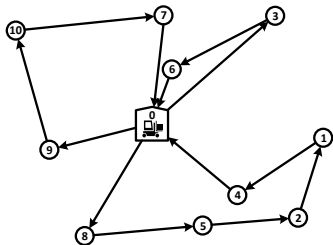
- ▶ Zamówienia
  - ▶ Lokalizacja



- ▶ Cel
  - ▶ Minimalizacja długości trasy



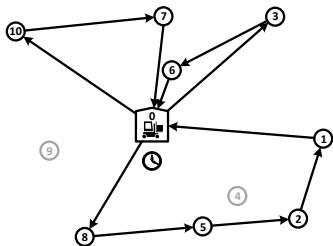
# Problem marszrutyzacji (VRP)



- ▶ Zamówienia
  - ▶ Lokalizacja
  - ▶ **Rozmiar**
- ▶ Pojazdy
  - ▶ **Pojemność**
- ▶ Cel
  - ▶ Minimalizacja długości tras



# Problem dynamicznej marszrutyzacji (DVRP)



- ▶ Zamówienia
  - ▶ Lokalizacja
  - ▶ Rozmiar
  - ▶ **Czas zgłoszenia**
- ▶ Pojazdy
  - ▶ Pojemność
  - ▶ **Czas pracy**
- ▶ Cel
  - ▶ Minimalizacja długości tras



# Główne cele rozprawy

- ▶ **Poprawa wyników** dla testowych instancji problemu dynamicznej marszrutyzacji



# Główne cele rozprawy

- ▶ **Poprawa wyników** dla testowych instancji problemu dynamicznej marszrutyzacji
  - ▶ Zaproponowanie **ciągłych przestrzeni przeszukiwania** umożliwiającego bezpośrednie zastosowanie populacyjnych algorytmów metaheurystycznych





# Główne cele rozprawy

- ▶ **Poprawa wyników** dla testowych instancji problemu dynamicznej marszrutyzacji
  - ▶ Zaproponowanie **ciągłych przestrzeni przeszukiwania** umożliwiającego bezpośrednie zastosowanie populacyjnych algorytmów metaheurystycznych
  - ▶ Wskazanie **kluczowych komponentów** zaproponowanego algorytmu



# Główne cele rozprawy

- ▶ **Poprawa wyników** dla testowych instancji problemu dynamicznej marszrutyzacji
  - ▶ Zaproponowanie **ciągłych przestrzeni przeszukiwania** umożliwiającego bezpośrednie zastosowanie populacyjnych algorytmów metaheurystycznych
  - ▶ Wskazanie **kluczowych komponentów** zaproponowanego algorytmu
- ▶ Zaproponowanie metody wykorzystującej **znajomość dynamiki problemu** do poprawy osiągniętych wyników



# Główne cele rozprawy

- ▶ **Poprawa wyników** dla testowych instancji problemu dynamicznej marszrutyzacji
  - ▶ Zaproponowanie **ciągłych przestrzeni przeszukiwania** umożliwiającego bezpośrednie zastosowanie populacyjnych algorytmów metaheurystycznych
  - ▶ Wskazanie **kluczowych komponentów** zaproponowanego algorytmu
- ▶ Zaproponowanie metody wykorzystującej **znajomość dynamiki problemu** do poprawy osiągniętych wyników
- ▶ Zaproponowanie metody wykorzystującej **cechy problemu** do **wyboru algorytmu optymalizacyjnego**, właściwego dla danego rodzaju problemu



# Hipotezy badawcze



- H1. Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiające zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji** ciągłej i **osiągającego dobrą jakość wyników**.



# Hipotezy badawcze



- H1. Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiającego zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji ciągłej** i **osiągającego dobrą jakość wyników**.
- H2. Możliwa jest poprawa **jakości osiągniętych wyników** i **zwiększenie stabilności ciągu rozwiązań** uzyskiwanych dla cząstkowych stanów problemu, poprzez **predykcję końcowego stanu zadania** dynamicznej marszrutyzacji.



# Hipotezy badawcze

- H1. Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiającego zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji ciągłej** i **osiągającego dobrą jakość wyników**.
- H2. Możliwa jest poprawa **jakości osiągniętych wyników** i **zwiększenie stabilności ciągu rozwiązań** uzyskiwanych dla cząstkowych stanów problemu, poprzez **predykcję końcowego stanu zadania** dynamicznej marszrutyzacji.
- H3. Możliwy jest **wybór algorytmu**, które ma największą szansę na osiągnięcie najlepszego wyniku dla danej instancji problemu na podstawie **danych o początkowo dostępnych zamówieniach**.



# Hipotezy badawcze



- ✓
  - ▶ PSO i DE, wykorzystywane alternatywnie do optymalizacji przypisania zamówień, uzyskiwały zbliżone rezultaty
  - ▶ Średnie wyniki poprawione od 1.2% do 7.8%, w zależności od ograniczeń eksperymentu, w stosunku do wyników z literatury

- H2. Możliwa jest poprawa **jakości osiągniętych wyników** i **zwiększenie stabilności ciągu rozwiązań** uzyskiwanych dla cząstkowych stanów problemu, poprzez **predykcję końcowego stanu zadania** dynamicznej marszrutyzacji.
- H3. Możliwy jest **wyбір algorytmu**, które ma największą szansę na osiągnięcie najlepszego wyniku dla danej instancji problemu na podstawie **danych o początkowo dostępnych zamówieniach**.



# Hipotezy badawcze

- ✓ Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiającego zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji ciągłej** i **osiągającego dobrą jakość wyników**.
  - ✓
    - ▶ Wprowadzono estymację finalnej sumy rozmiarów zamówień
    - ▶ Wyniki poprawione o dalsze 0.5%
    - ▶ Poprawiona stabilność rozwiązań pośrednich
    - ▶ Zwiększony rozmiar przestrzeni przeszukiwania
- H3. Możliwy jest **wyбір algorytmu**, które ma największą szansę na osiągnięcie najlepszego wyniku dla danej instancji problemu na podstawie **danych o początkowo dostępnych zamówieniach**.





# Hipotezy badawcze



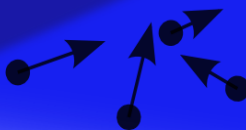
- ✓ Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiającego zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji ciągłej** i **osiągającego dobrą jakość wyników**.
- ✓ Możliwa jest poprawa **jakości osiągniętych wyników** i **zwiększenie stabilności ciągu rozwiązań** uzyskiwanych dla cząstkowych stanów problemu, poprzez **predykcję końcowego stanu zadania** dynamicznej marszrutyzacji.
- ✓
  - ▶ Zaproponowano statystyki charakteryzujące zbiór zamówień
  - ▶ Poprawny algorytm wskazany w 81% istotnych przypadków
  - ▶ Konieczne istnienie konkurencyjnego algorytmu o istotnie różnej charakterystyce wyników



# Hipotezy badawcze



- ✓ Możliwe jest zaproponowanie **ciągłego kodowania problemu** (dynamicznej) marszrutyzacji, umożliwiające zastosowanie dowolnych **populacyjnych algorytmów optymalizacji ciągłej** i **osiągającego dobrą jakość wyników**.
- ✓ Możliwa jest poprawa **jakości osiągniętych wyników** i **zwiększenie stabilności ciągu rozwiązań** uzyskiwanych dla cząstkowych stanów problemu, poprzez **predykcję końcowego stanu zadania** dynamicznej marszrutyzacji.
- ✓ Możliwy jest **wyбір algorytmu**, które ma największą szansę na osiągnięcie najlepszego wyniku dla danej instancji problemu na podstawie **danych o początkowo dostępnych zamówieniach**.



# Algorytm ContDVRP





# Cechy algorytmu ContDVRP



- ▶ Optymalizacja ciągu statycznych instancji



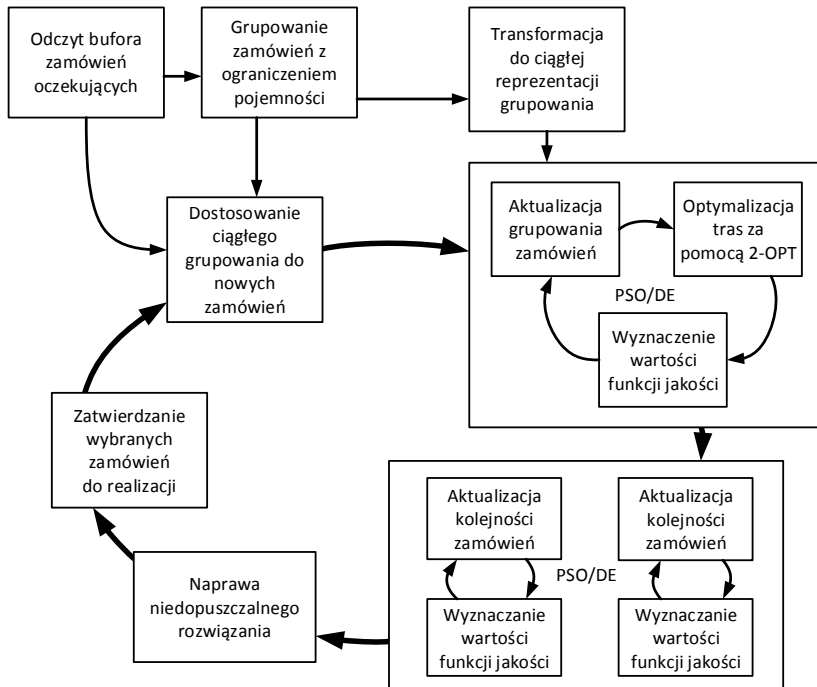
# Cechy algorytmu ContDVRP

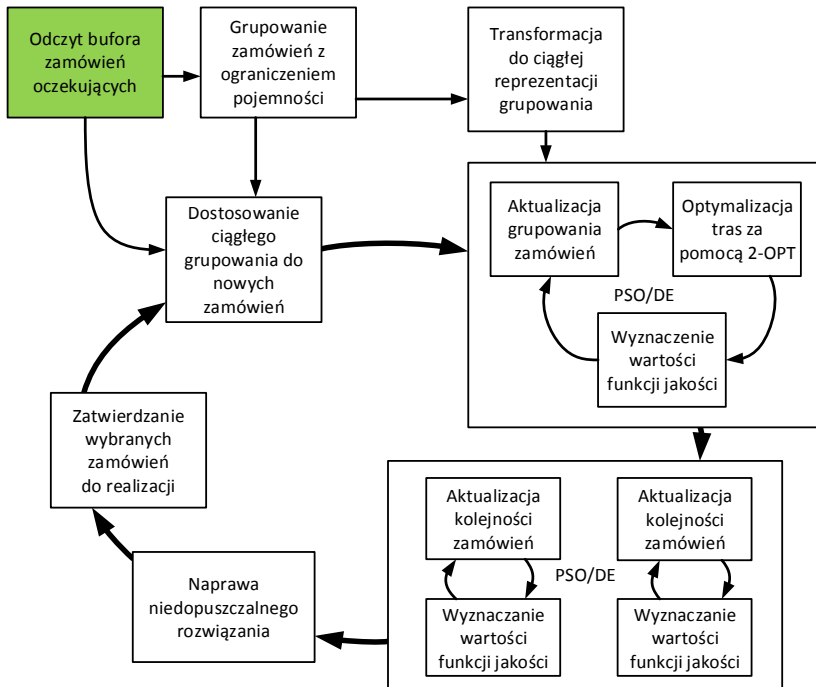
- ▶ Optymalizacja ciągu statycznych instancji
- ▶ Wykorzystanie algorytmów optymalizacji ciągłej do rozwiązania problemu dyskretnego



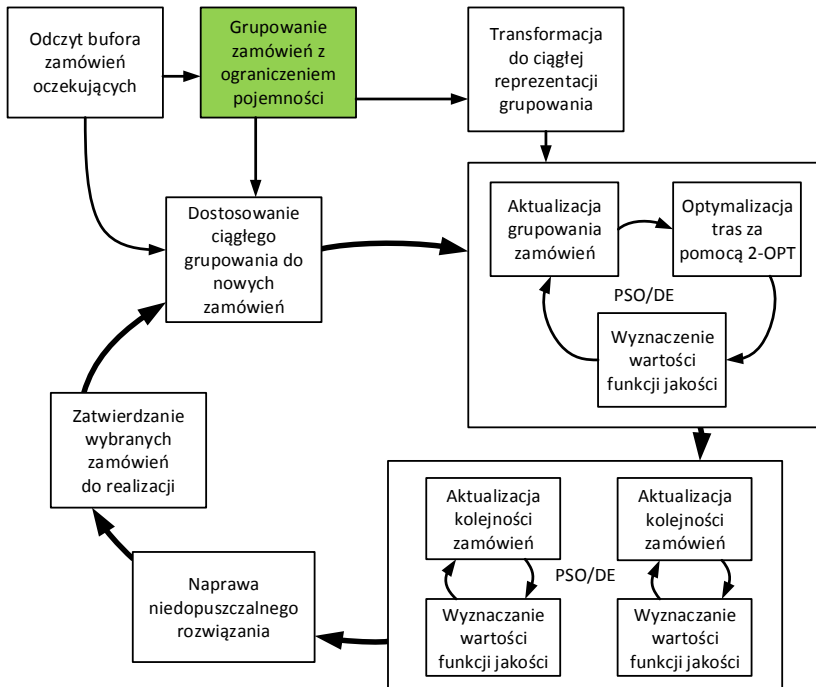
# Cechy algorytmu ContDVRP

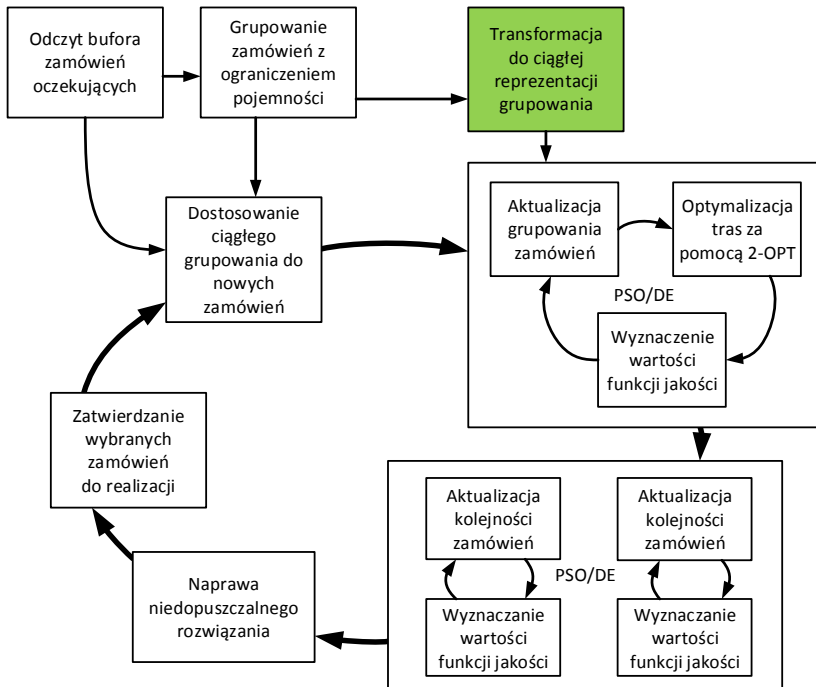
- ▶ Optymalizacja ciągu statycznych instancji
- ▶ Wykorzystanie algorytmów optymalizacji ciągłej do rozwiązania problemu dyskretnego
- ▶ Inicjalizacja populacji algorytmu metaheurystycznego z wykorzystaniem rozwiązań heurystycznych i historycznych

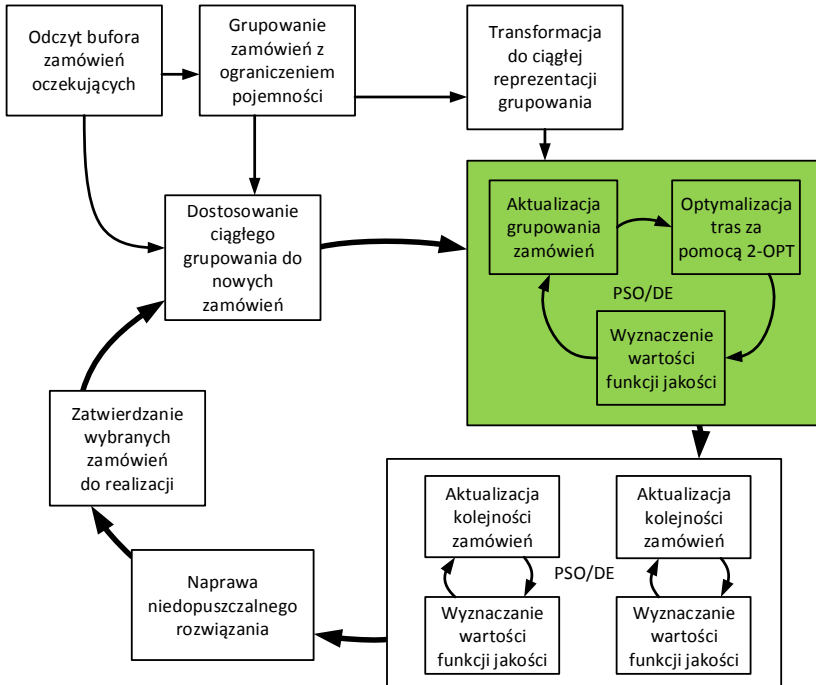


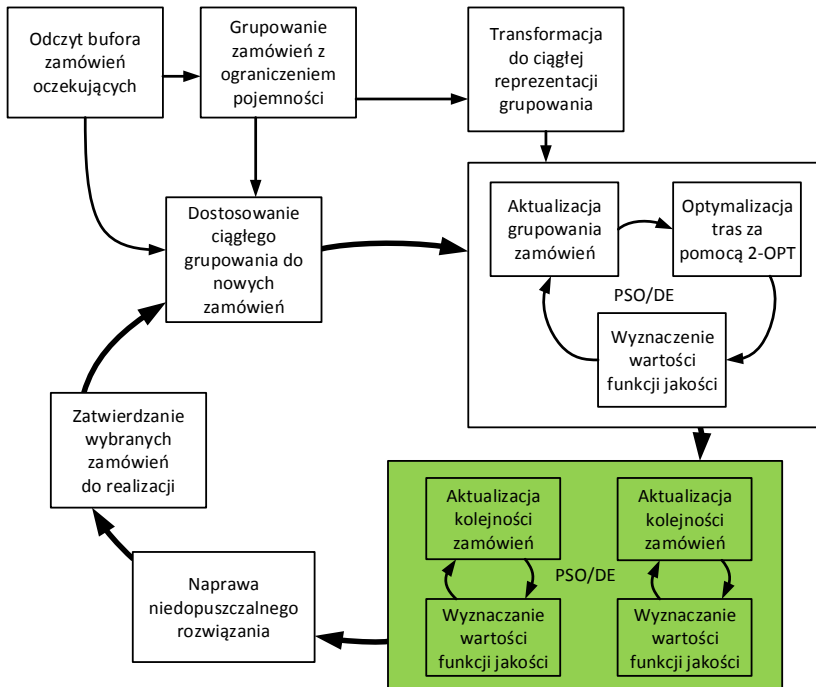


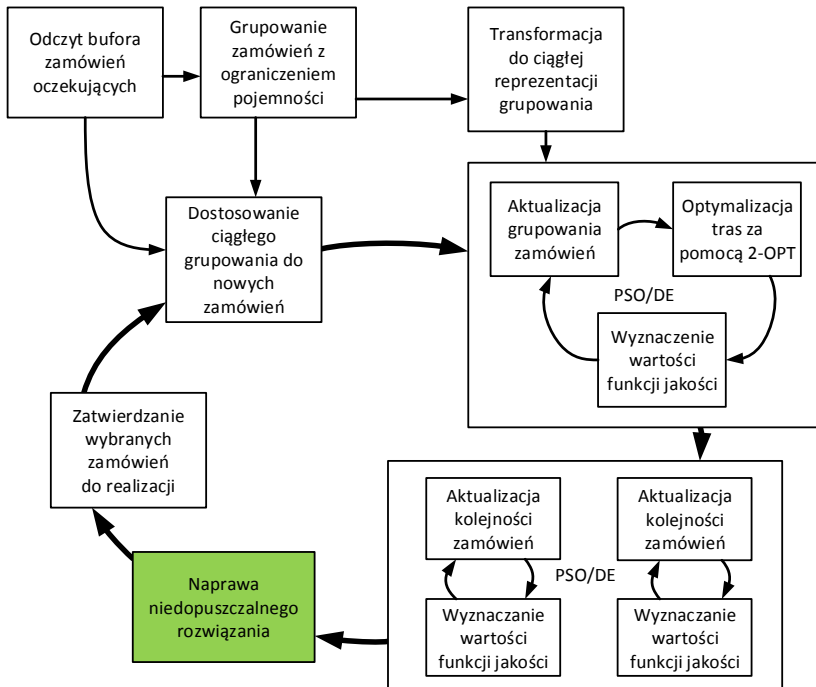


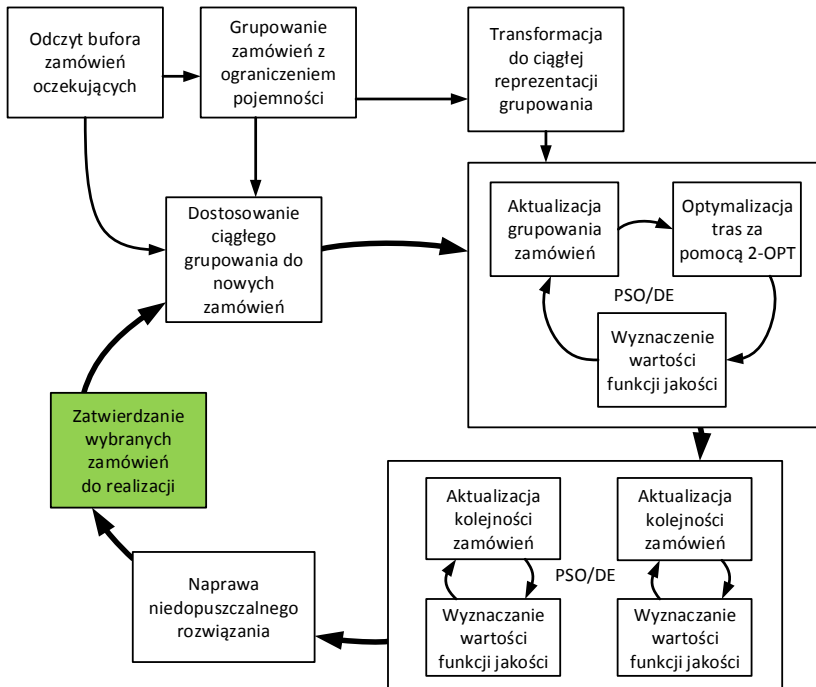


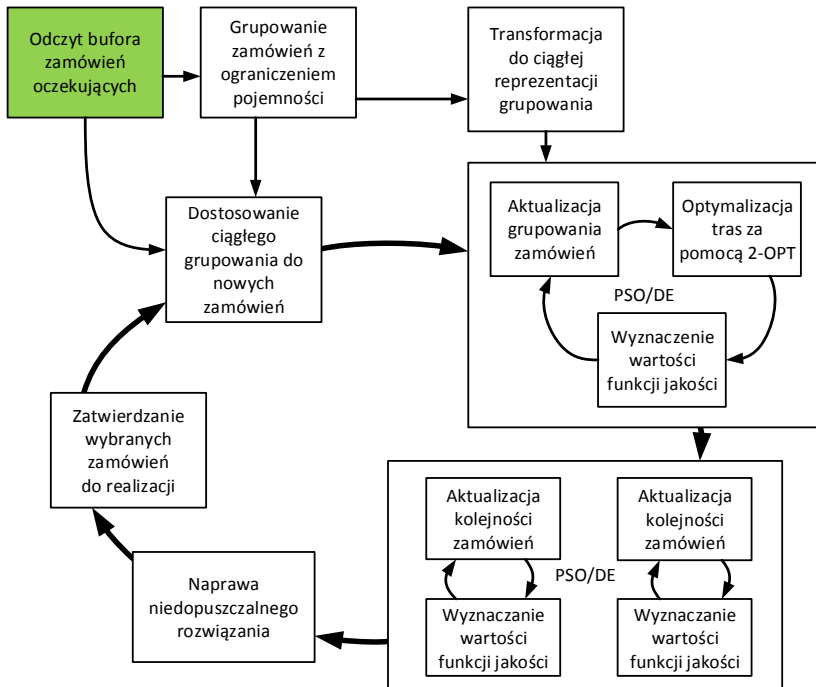


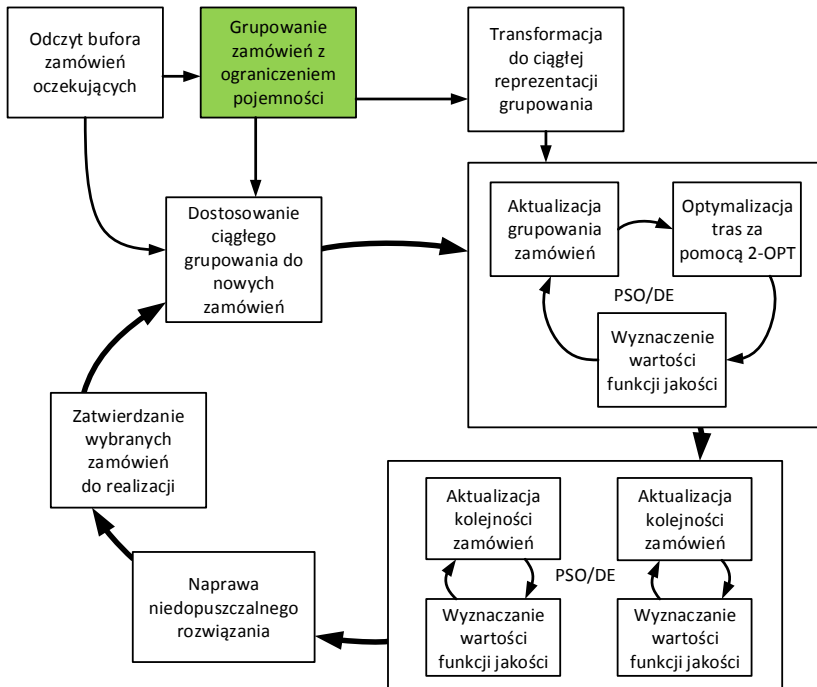




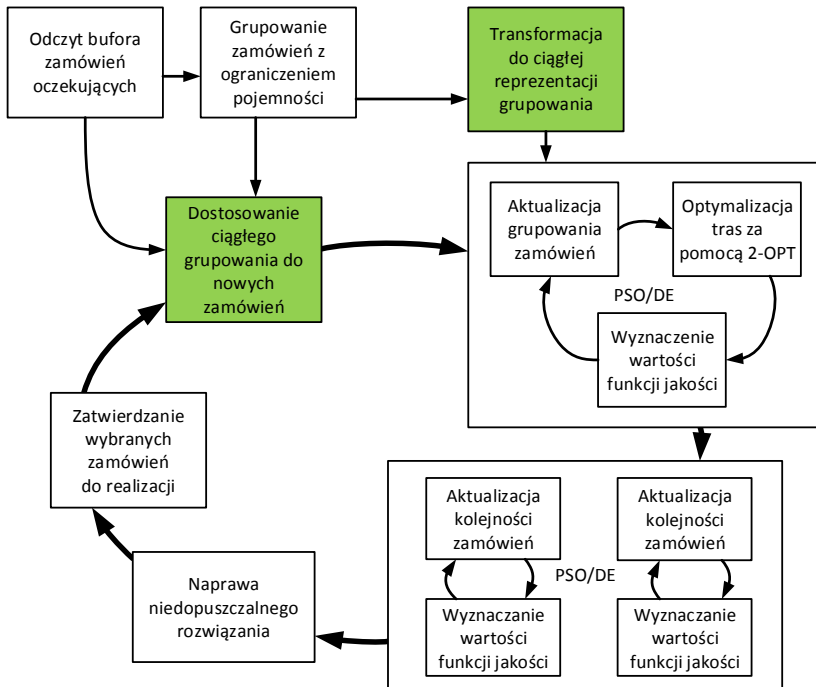


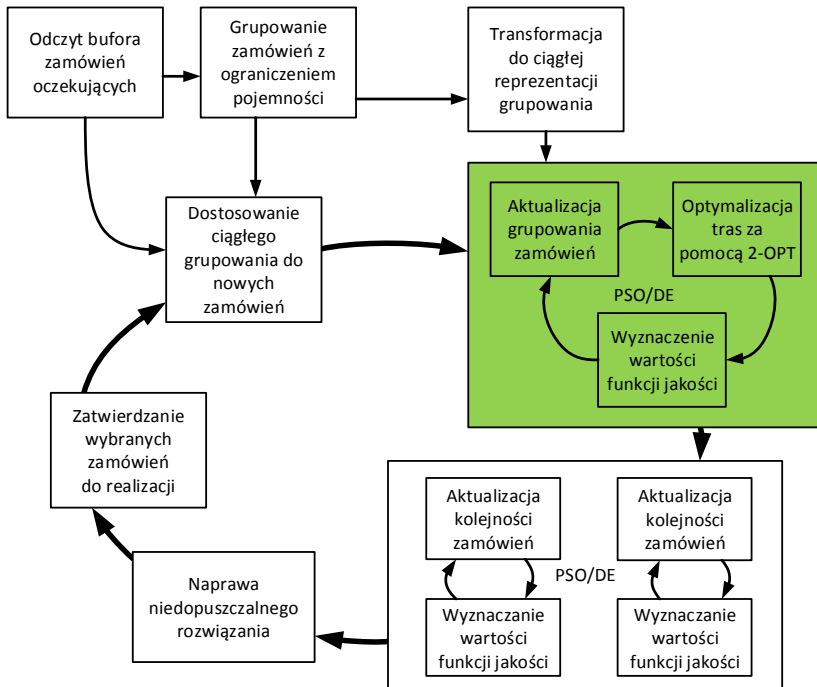














# Ewaluacja algorytmu ContDVRP

## Instancje testowe Kilby'ego

- ▶ 21 testowych instancji problemu o rozmiarze od 50 do 199 zamówień
- ▶ Zróżnicowane pod względem rozkładów przestrzennych i rozkładów rozmiarów zamówień

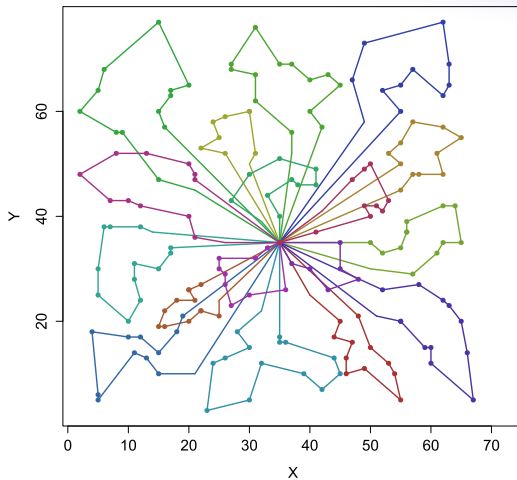
## Ocena algorytmu

- ▶ Porównanie średnich wartości z 30 przebiegów  $j$  dla każdej instancji  $i$
- ▶ Agregacja wyników poprzez wprowadzenie miary względnej jakości: 
$$\frac{FoundRoutesLength_{i,j}}{BestKnownRoutesLength_i}$$



# Przykładowa instancja

c199





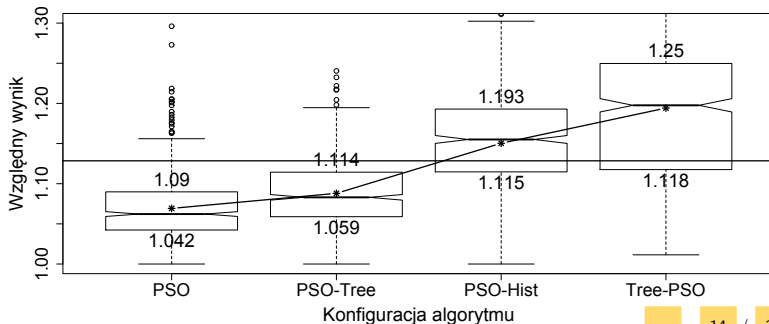
# Kluczowe komponenty algorytmu

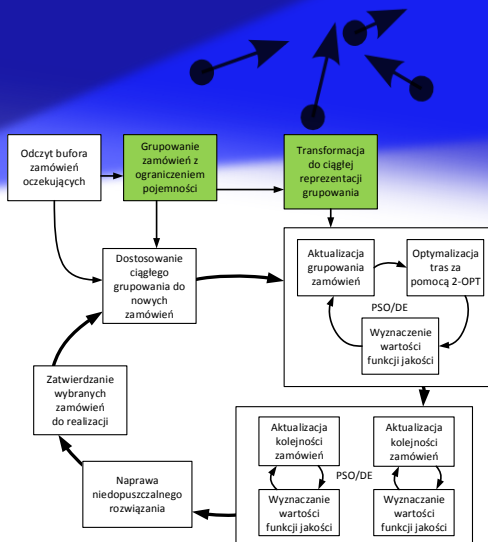
**Tree** - Grupowanie z ograniczeniami w oparciu o algorytm Kruskala

**PSO** - Ciągła optymalizacja przydziału zamówień

**Hist** - Transfer rozwiązań pomiędzy krokami czasowymi

## Podsumowanie dla różnych konfiguracji



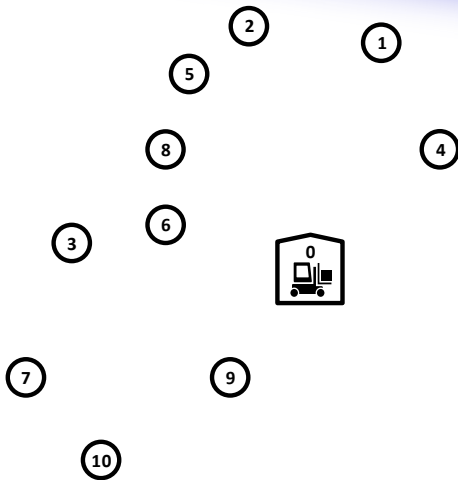


**Konstrukcja rozwiązania początkowego  
i jego konwersja do ciągłych przestrzeni  
przeszukiwania**



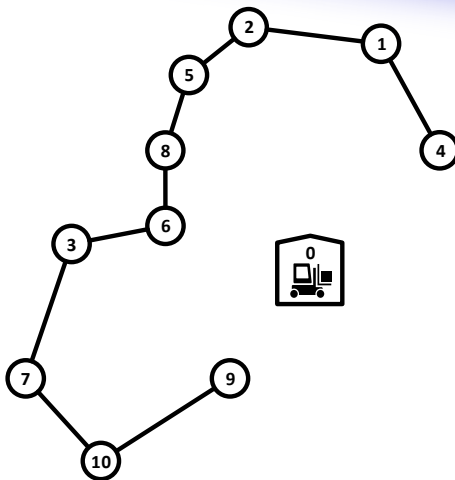


# Grupowanie z ograniczeniem pojemności





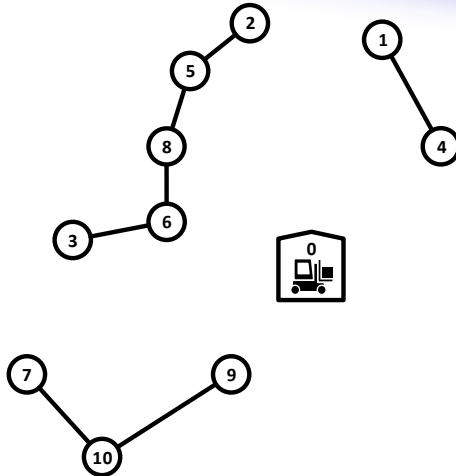
# Grupowanie z ograniczeniem pojemności





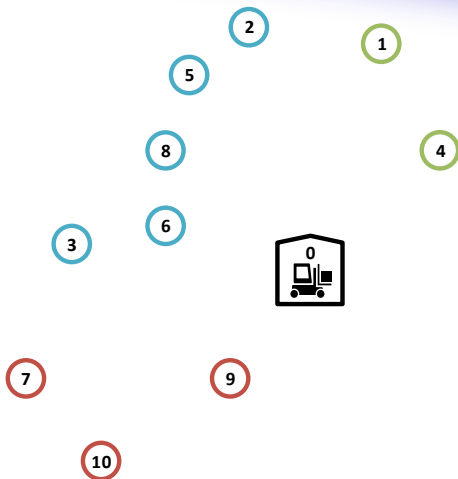


# Grupowanie z ograniczeniem pojemności



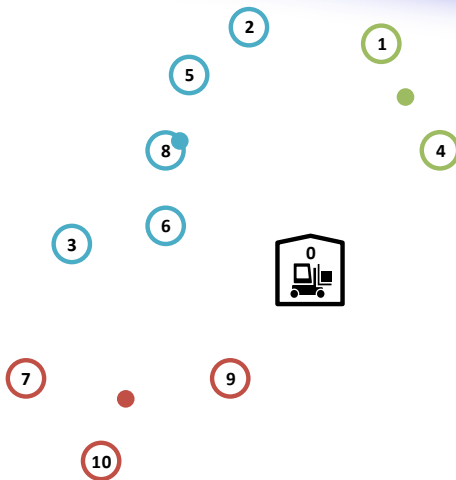


# Grupowanie z ograniczeniem pojemności



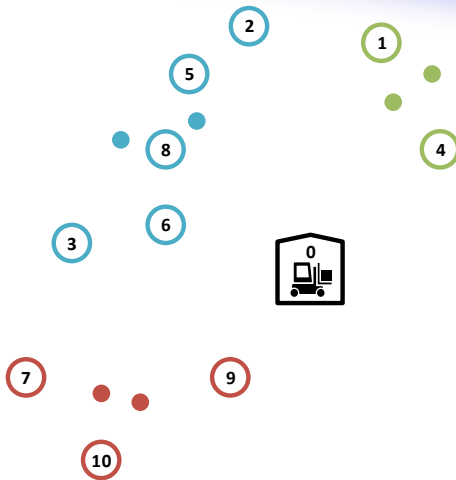


# Ciągła reprezentacja grupowania



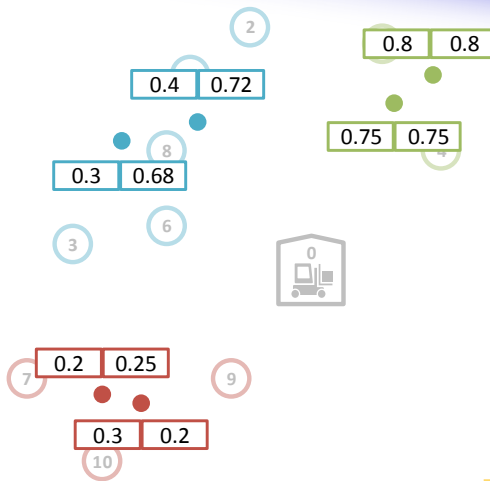


# Ciągła reprezentacja grupowania





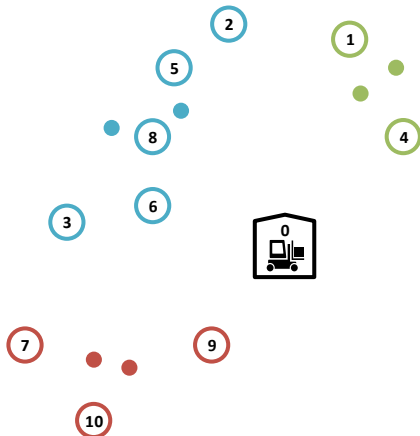
# Ciągła reprezentacja grupowania





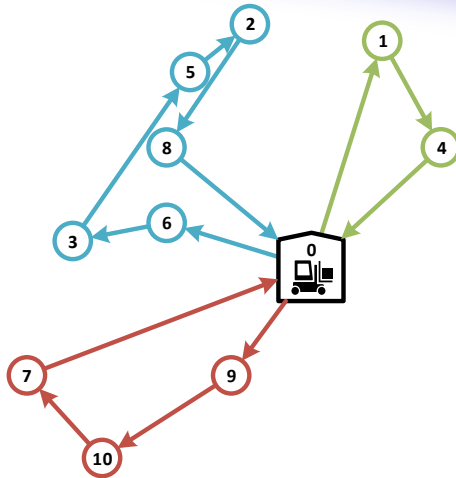
# Ciągła reprezentacja grupowania

0.75	0.75	0.2	0.25	0.3	0.68	0.8	0.8	0.3	0.2	0.4	0.72
------	------	-----	------	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------



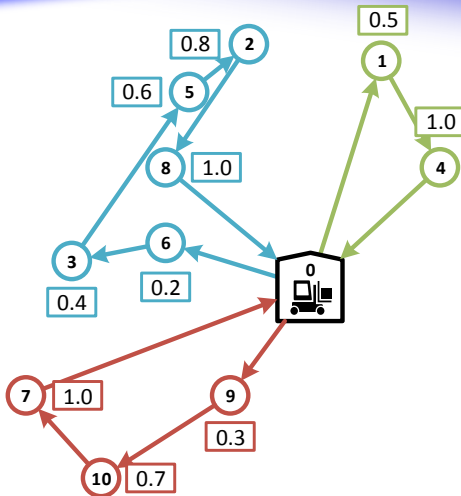


# Początkowe trasy





# Ciągła reprezentacja tras

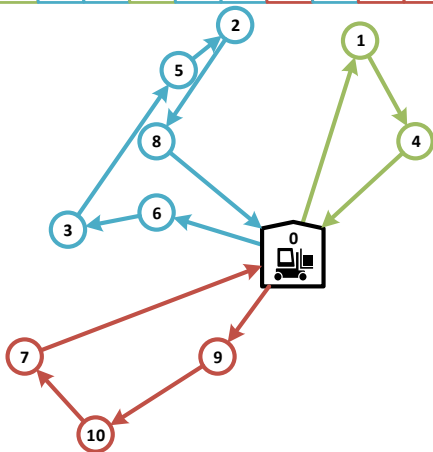


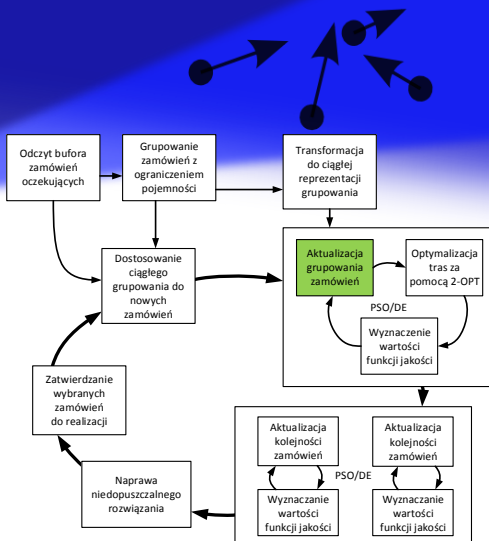




# Ciągła reprezentacja tras

0.5	0.8	0.4	1.0	0.6	0.2	1.0	1.0	0.3	0.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----





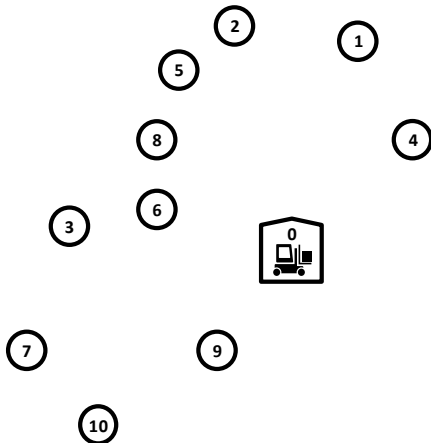
## Optymalizacja przypisania zamówień do pojazdów w przestrzeni centroidów skupisk zamówień





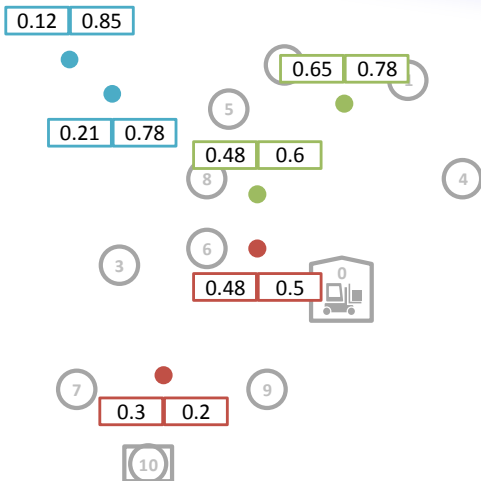
# Podział zamówień indukowany ciągłą reprezentacją

0.48 0.6 0.3 0.2 0.21 0.78 0.65 0.78 0.48 0.5 0.12 0.85



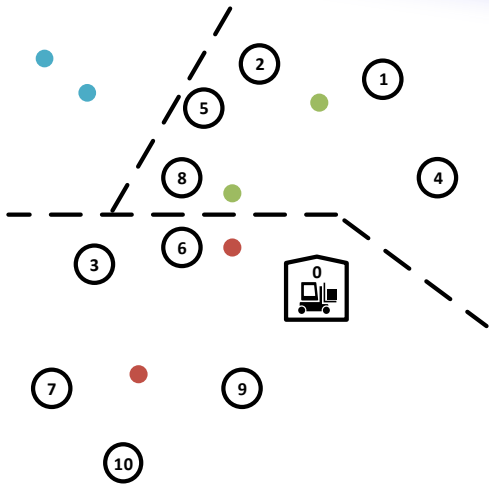


# Podział zamówień indukowany ciągłą reprezentacją



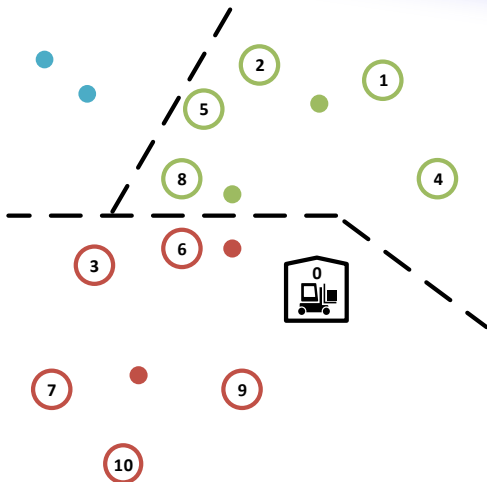


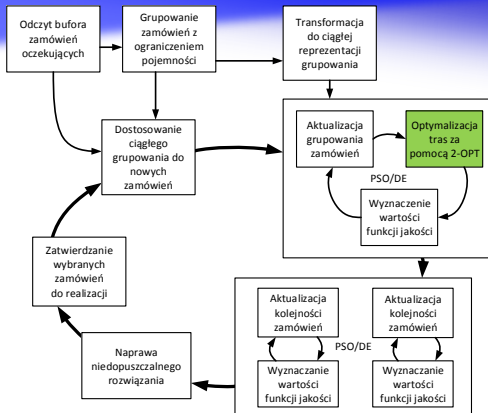
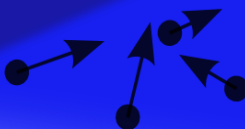
# Podział zamówień indukowany ciągłą reprezentacją





# Podział zamówień indukowany ciągłą reprezentacją





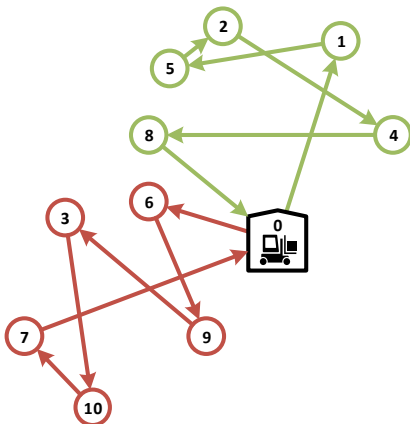
# Konstrukcja przybliżonych tras w celu ewaluacji grupowania jako rozwiązania DVRP





# Konstrukcija tras

0.5	0.8	0.4	1.0	0.6	0.2	1.0	1.0	0.3	0.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

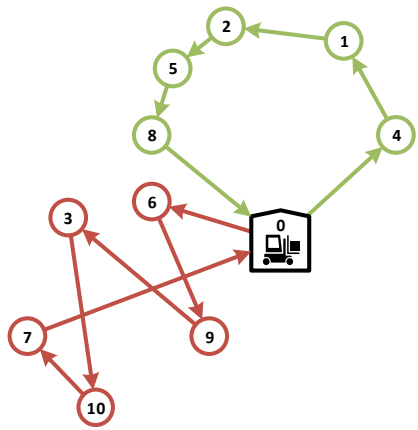






# Konstrukcija tras

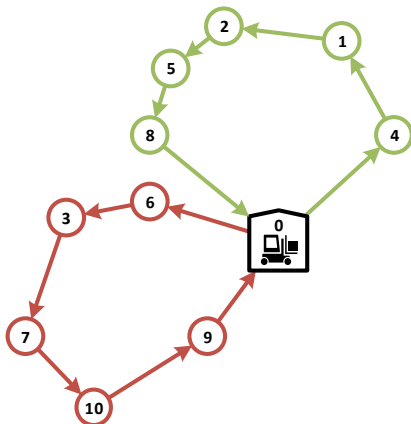
0.4	0.6	0.4	0.2	0.8	0.2	1.0	1.0	0.3	0.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----





# Konstrukcja tras

0.4	0.6	0.4	0.2	0.8	0.2	0.6	1.0	1.0	0.8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

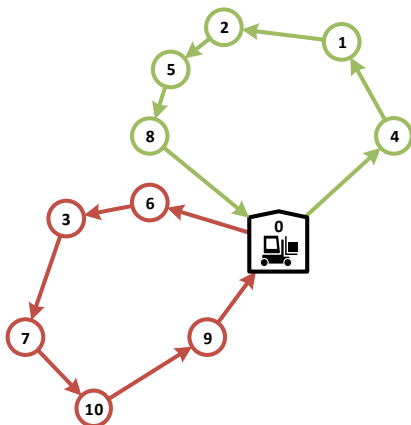


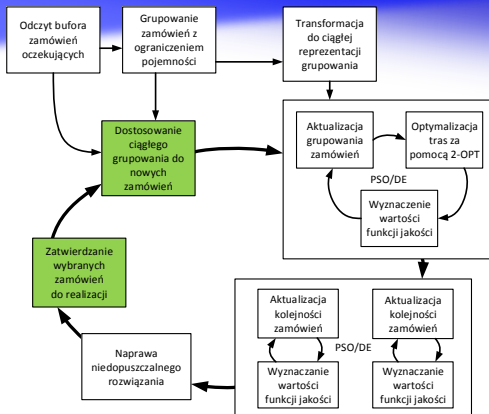
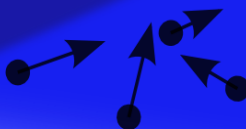


# Konstrukcja tras

0.4 0.6 0.2 0.8 1.0

0.4 0.2 0.6 1.0 0.8



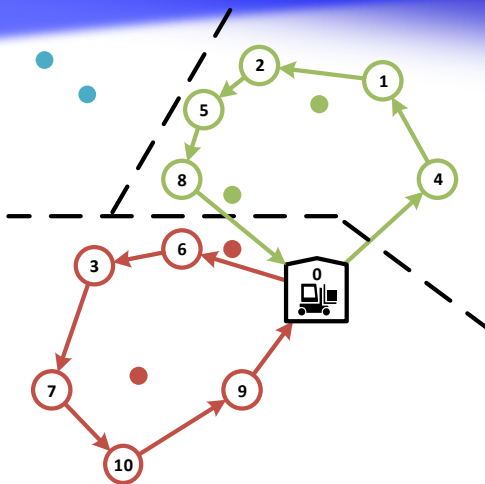


## Zatwierdzanie zamówień i transfer rozwiązań do kolejnego kroku czasowego



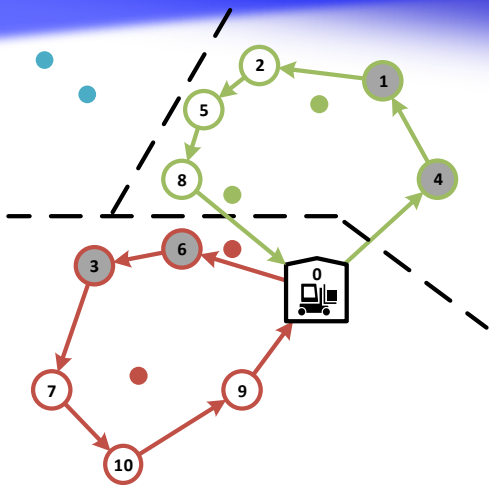


# Zatwierdzenie zamówień do realizacji



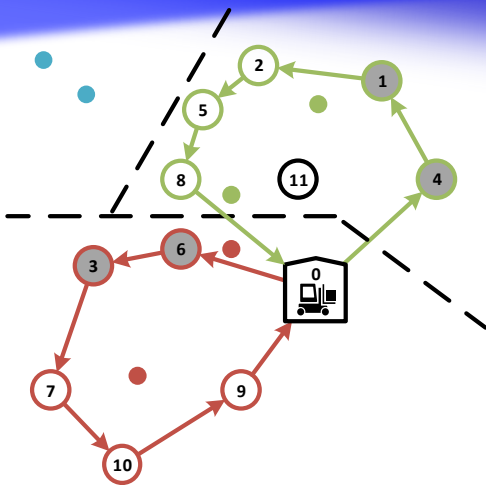


# Zatwierdzenie zamówień do realizacji



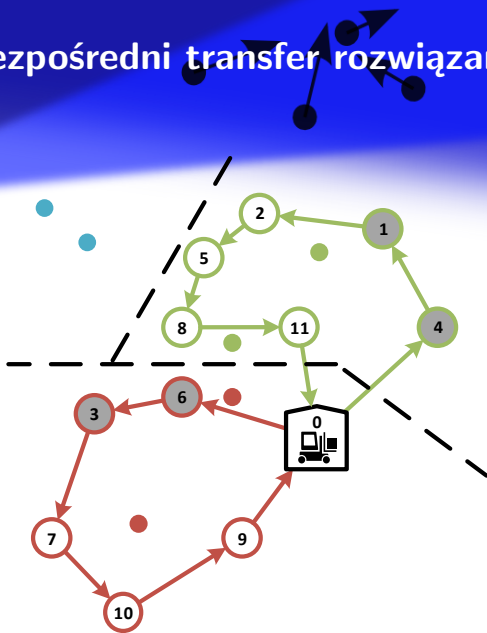


# Bezpośredni transfer rozwiązania





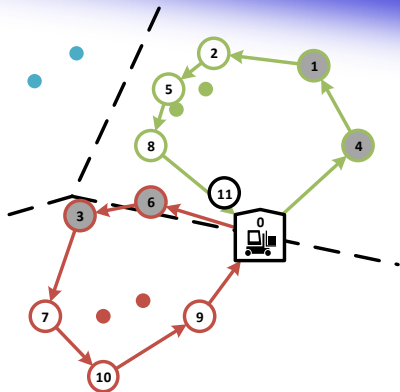
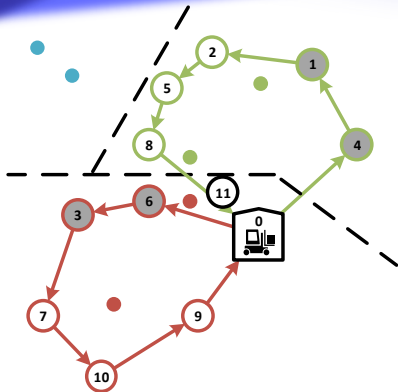
# Bezpośredni transfer rozwiązania





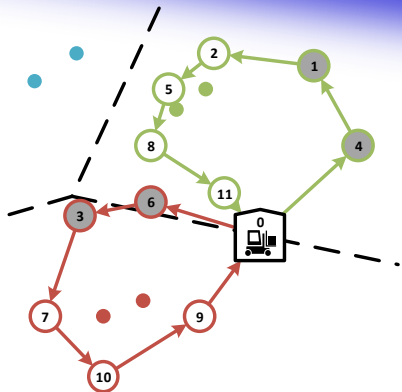
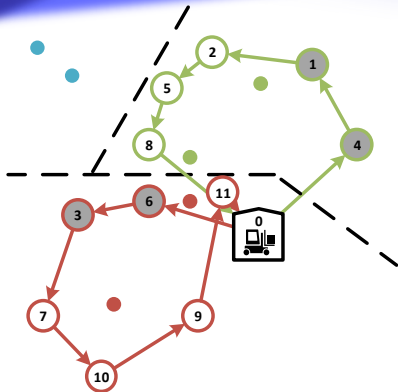


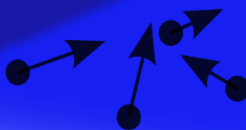
# Zestawienie transferów rozwiązania





# Zestawienie transferów rozwiązania





# Rezultaty



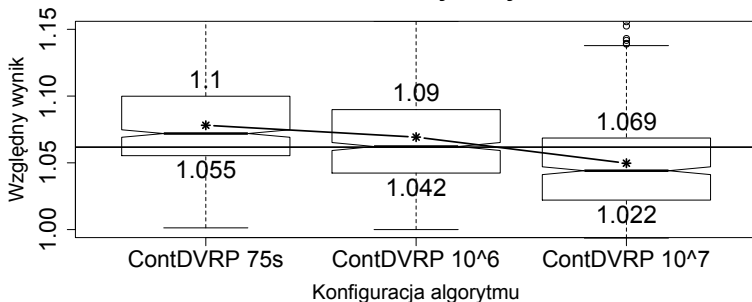


# Wyniki



Eksperyment	Algorytm literaturowy	Zysk	Sukcesy
Czas	GA (Hanshar i Ombuki-Berman, 2007)	7.8%	16 : 1
$10^6$ ewaluacji	MEMSO (Khouadjia i in., 2013)	5.5%	15 : 2
$10^7$ ewaluacji	M-VRPDR (Mańdziuk i Żychowski, 2016)	1.2%	9 : 7

## Podsumowanie dla różnych kryteriów STOP





# Publikacje

- ▶ M. Okulewicz, J. Mańdziuk, (2013), *Application of Particle Swarm Optimization Algorithm to Dynamic Vehicle Routing Problem*, LNCS, vol. 7895, 547-558, Springer
- ▶ M. Okulewicz, J. Mańdziuk, (2014), *Two-Phase Multi-Swarm PSO and the Dynamic Vehicle Routing Problem*, CIHLI 2014, Orlando, FL, 86-93, IEEE Press
- ▶ M. Okulewicz, J. Mańdziuk, (2015), *Dynamic Vehicle Routing Problem: A Monte Carlo Approach*, ITRIA 2015, Pułtusk, Poland, 119-138
- ▶ M. Okulewicz, J. Mańdziuk, (2016), *A Particle Swarm Optimization hyper-heuristic for the Dynamic Vehicle Routing Problem*, BIOMA 2016, Bled, Slovenia, 215-227
- ▶ [www.mini.pw.edu.pl/~mandziuk/dynamic/?page\\_id=67](http://www.mini.pw.edu.pl/~mandziuk/dynamic/?page_id=67)
- ▶ [sourceforge.net/projects/continuous-dvrp/](https://sourceforge.net/projects/continuous-dvrp/)



Warszawa, 8. lutego 2017  
mgr inż. Michał Okulewicz

Promotor: prof. dr hab. inż. Jacek Mańdziuk

# Zastosowanie populacyjnych metaheurystyk uwzględniających rozkład danych problemu do rozwiązywania problemu dynamicznej marszrutyzacji

Badania sfinansowane w ramach:

▶ **Projekt:**

Technologie informacyjne: badania i ich interdyscyplinarne zastosowania,  
POKL.04.01.01-00-051/10-00

▶ **Grant Narodowego Centrum Nauki:**

Autonomiczne, samoadaptujące się metody metaheurystyczne w środowiskach  
dynamicznych, DEC-2012/07/B/ST6/01527

