

Marianna Jacyna<sup>1</sup>, Emilian Szczepański<sup>2</sup>  
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

## Problem optymalizacji tras w dystrybucji ładunków na obszarach zurbanizowanych

### WPROWADZENIE

Transport towarów w miastach ma duży wpływ na efektywność gospodarki, jakość życia, dostępność i atrakcyjność społeczności lokalnej. Niestety na chwilę obecną tym zagadnieniom poświęca się niewiele uwagi w porównaniu do transportu pasażerskiego [13].

Transport towarów stanowi z jednej strony główny czynnik umożliwiający rozwój większości działań gospodarczych i społecznych zachodzących w obszarach miejskich, co związane jest zarówno z zaopatrzeniem sklepów oraz miejsc pracy i wypoczynku, jak i z gospodarką odpadami. Z drugiej jednak strony transport towarowy jest głównym czynnikiem niepokojącym i utrudniającym życie społeczne mieszkańców aglomeracji miejskich. Należy, zatem poszukiwać rozwiązań pozwalających na ograniczenie ruchu towarowego w miastach. Jednym z takich rozwiązań jest logistyka miejska, która ma na celu zmniejszenie uciążliwości związanych z transportem towarów na obszarach miejskich, przy jednoczesnym wspieraniu rozwoju gospodarczego i społecznego miast [7].

Usprawnienie obsługi logistycznej miast to przede wszystkim zmniejszenie ruchu pojazdów wysokotonazowych w miastach, mające na celu zmniejszenie kongestii, zanieczyszczenia środowiska, a także zwiększenie bezpieczeństwa ruchu. Efekt taki można uzyskać poprzez efektywne planowanie transportu, a co za tym idzie zwiększenie wykorzystania środków transportowych i minimalizację długości tras dostawy [4].

Powyższe zagadnienie wiąże się z dystrybucją towarów zajmującą się planowaniem, organizacją oraz kontrolą rozmieszczania produktów na rynku w celu udostępnienia ich do sprzedaży [9]. W zakresie obsługi obszarów miejskich celem dystrybucji jest zaspokajanie potrzeb transportowych zgłaszanych na danym obszarze poprzez realizację procesu transportowego [3].

Należy podkreślić, że projektowanie systemów dystrybucji jest procesem inżynierskim, który wymaga od projektanta podejmowania trafnych decyzji dotyczących rozwiązań zastosowanych w projekcie [10]. Decyzja nierzadko podejmowana jest intuicyjnie, ale także i w oparciu o doświadczenia i wiedzę nabytą wcześniej przez decydenta. Często wymaga się specjalistycznych programów wspomagających proces decyzyjny. Determinowane jest poprzez:

- dużą liczbę możliwych wariantów;
- skomplikowaną sytuację decyzyjną;
- możliwości wysokich korzyści lub dużych strat (np. finansowych);
- wagą problemu decyzyjnego.

Podejmowanie trafnych decyzji jest kluczem do otrzymania rozwiązań optymalnych tzn. wyboru najlepszych wariantów, w których osiągnane są maksymalne korzyści przy minimalnych nakładach.

### 1. WIELOSZCZEBLOWE SYSTEMY DYSTRYBUCJI

Wymagania stawiane obsłudze transportowej aglomeracji miejskiej dotyczące zarówno terminowości dostaw jak i jej jakości powodują konieczność podjęcia działań usprawniających [5]. Jednym z takich

<sup>1</sup> maja@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> eszczepanski@it.pw.edu.pl

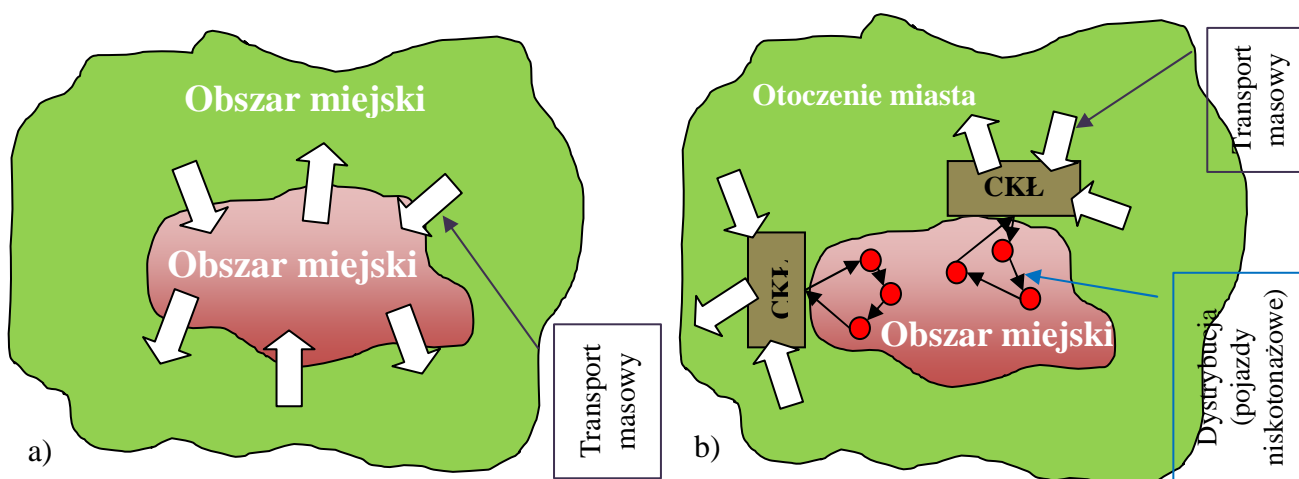
działań jest zastosowanie wieloszczeblowego systemu dystrybucji\* w oparciu o Centra Konsolidacji Ładunków i HUB'y przeładunkowe. CKŁ świadczy usługi takie jak magazynowanie, komisjonowanie czy przewóz towarów. Ładunki trafiające do CKŁ po poddaniu ich rozdziałowi i kompletacji oraz załadunku na pojazd dostarcza się do HUB'ów, gdzie również następuje rozdział asortymentu i załadunek towaru na pojazd o mniejszej ładowności [2].

Centrum Konsolidacji Ładunków definiuje się jako obiekt logistyczny typu magazynowego o specyfice buforowo-rozdzielczo-kompletacyjnej, charakteryzującej się bardzo małym normatywem zapasu (dużej rotacji) oraz zróżnicowanymi pod wieloma względami strumieniami przepływających ładunków [6].

HUB'y natomiast definiuje się jako punkty przeładunkowe zlokalizowane w różnych strefach miasta (przeważnie przemysłowych), gdzie następuje rozdział asortymentu oraz zmiana środka transportowego na mniejszy pojazd [4].

Zatem wieloszczeblowe systemy dystrybucji w aglomeracjach miejskich skonstruowane są Centrów Konsolidacji Ładunków (CKŁ) zlokalizowanych na obrzeżach miast oraz miejskich punktów przeładunkowych (HUB). W takim ujęciu z punktu widzenia realizacji procesu dystrybucji można wyróżnić systemy: bezpośrednie, pośrednie, mieszane.

Systemy bezpośrednie są to tzw. systemy „door to door”, przy czym wymagają stosowania u nadawców i odbiorców specjalnych urządzeń ładunkowych (np. windy samochodowe czy ręczne wózki paletowe). Systemy pośrednie wykorzystują punkty przeładunkowe np. CKŁ jako punkt konsolidacji ładunku, czy HUB'y jako punkt dystrybucyjny. W systemach mieszanych dostawa może odbywać się zarówno bezpośrednio jak i z wykorzystaniem punktów pośrednich [4]. Przykłady takich systemów przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

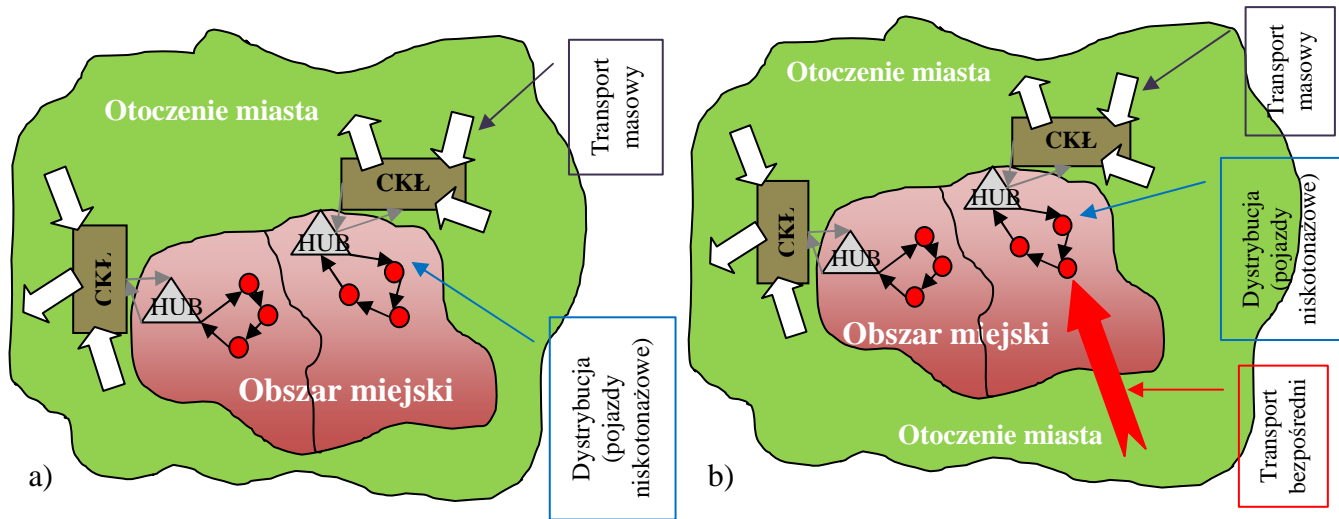


Rys. 1. Ilustracja graficzna obsługi logistycznej miasta: a) bezpośredni system obsługi, b) pośredni system obsługi jednostopniowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie [274].

Systemy pośrednie można podzielić na jednostopniowe jak i dwustopniowe. Podział ten wynika z punktu widzenia liczby etapów występujących w obsłudze logistycznej. W systemach jednostopniowych towar od nadawcy trafia do CKŁ, gdzie jest poddawany kompletacji, a następnie ładowane są na pojazdy niskotonażowe i dostarczane do odbiorców na terenach aglomeracji miejskich.

\*Wieloszczeblowy system dystrybucji to system oparty na elementach różnego szczebla [11]. Można więc wyróżnić takie zbiory elementów danego szczebla, które będą podrzędne elementom szczebla wyższego [9]. Liczba szczebli dystrybucji jest uzależniona od liczby pośredników występujących bezpośrednio po sobie. Struktura takiego systemu zależy przede wszystkim od lokalizacji nadawców oraz odbiorców towarów, a także umiejscowienia punktów pośrednich [1].



Rys. 2. Ilustracja graficzna obsługi logistycznej miasta: a) bezpośredni system obsługi dwustopniowy, b) mieszany system obsługi

Źródło: opracowanie własne na podstawie [274].

Systemy dwustopniowe charakteryzują się dodatkowym punktem pośrednim zlokalizowanym w obszarze miejskim (HUB). W takich systemach towar z CKŁ nie trafia bezpośrednio do odbiorcy, lecz najpierw dostarczany jest do miejskiego punktu przeładunkowego gdzie ładunek jest rozdzielany na poszczególne trasy i ładowany na pojazdy niskotonazowe.

Mieszane systemy obsługi są to systemy, które mogą być połączeniem zarówno systemów bezpośrednich jak i pośrednich jedno i dwustopniowych. Przy czym w takim przypadku obsługa bezpośrednia ma miejsce jedynie w uzasadnionych przypadkach zarówno ze względów ekonomicznych jak i technicznych i prawnych [8].

## 2. STRUKTURA SIECI TRANSPORTOWEJ W DYSTRYBUCJI ŁADUNKÓW NA OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH

Badania prowadzone w niniejszym artykule dotyczą optymalizacji planu przewozów w wieloszczeblowym systemie dystrybucji na obszarze miejskim. Zadanie to jest oparte na problemie komiwojażera określanego często jako TSP (Travelling Salesman Problem), a konkretniej na jego modyfikacji czyli tak zwanym problemie wielu komiwojażerów MTSP (Multiple Travelling Salesman Problem).

Zagadnienie komiwojażera w uproszczeniu polega na wyznaczeniu takiej drogi między wszystkimi odbiorcami na trasie, aby łączna jej długość była jak najkrótsza. Przy czym istotny jest warunek, iż komiwojażer zaczynając podróż w pewnym punkcie musi ją w tym samym punkcie zakończyć. Takie podejście wymaga znalezienia cyklu Hamiltona w grafie [12]. Cykl Hamiltona to taki cykl który zawiera wszystkie wierzchołki dokładnie jeden raz. W przypadku problemu wielu komiwojażerów występują dodatkowe ograniczenia wynikające chociażby z ładowności pojazdu. Szukanie cyklu Hamiltona wymaga dekompozycji zadania na podgrafy. W tym przypadku występuje wielu komiwojażerów realizujących różne trasy, przy czym łączna długość tras dla całego zadania powinna być możliwie najkrótsza.

Do przedstawienia struktury sieci transportowej badanego obszaru wykorzystano graf  $G$  (wzór 1) [9]:

$$G = \langle W, L \rangle \quad (1)$$

gdzie:

$W$  – zbiór wierzchołków grafu  $G$  (wzór 2):

$$W = \{w: w = 1, \dots, a, \dots, w', \dots, b, \dots, M\} \quad (2)$$

$L$  – zbiór łuków grafu  $G$ .

Przyjmujemy, że  $L$  definiuje łuki oraz jest relacją określoną na iloczynie kartezjańskim. Łuk  $(w, w')$  jest rozumiany jako przejście od węzła  $w$  do węzła  $w'$ , przedstawiony w postaci wzoru 3:

$$L \subset W \times W; L = \{(w, w') : (w, w') \in W \times W; w \neq w'\} \quad (3)$$

Drogą w grafie  $G$  z węzła  $a$  do  $b$  będzie ciąg zapisany jako (wzór 4):

$$p(a, b) = \langle a, \dots, w, w', \dots, b \rangle \text{ jeżeli } a, w, w', b \in W \quad (4)$$

W przypadku gdy wszystkie wierzchołki są różne jest ona **drogą prostą**.

Natomiast zbiór wszystkich dróg z węzła  $a$  do węzła  $b$  oznaczono jako  $P^{ab}$  (wzór 5):

$$P^{ab} = \{p(a, b) : a, b \in W\} \quad (5)$$

**Drogą cykliczną** w grafie  $G = \langle W, L \rangle$  nazywamy drogę  $p \in P^{ab}$  taką, że  $a = b$  dla  $a, b \in W$ .

Na potrzeby badań założono, że na zbiorze  $W$  zadano odwzorowanie  $\gamma$ , które elementy tego zbioru przekształca w zbiór  $\{0, 1, 2\}$  tj. (wzór 6):

$$\gamma: W \rightarrow \{0, 1, 2\} \quad (6)$$

przy czym jeśli  $\gamma(w) = 0$  to  $w$ -ty węzeł struktury ma interpretację numeru CKŁ, natomiast gdy  $\gamma(w) = 1$  to  $w$ -ty węzeł struktury ma interpretację numeru HUB'u, w przypadku gdy  $\gamma(w) = 2$  to  $w$ -ty węzeł struktury ma interpretację numeru odbiorcy zlokalizowanego na obszarze miasta.

**Powyższe pozwala na zdefiniowanie:**

– zbioru  $N$  numerów CKŁ postaci (wzór 7)::

$$N = \{w \equiv n : \gamma(w) = 0, w \in W, n = 1, 2, \dots, \bar{N}\} \quad (7)$$

gdzie:  $n$  – numer  $n$ -tego nadawcy;  $\bar{N}$  – oznacza liczbę nadawców.

– zbioru  $H$  numerów HUB'ów postaci (wzór 8)::

$$H = \{w \equiv h : \gamma(w) = 1, w \in W, h = \bar{N} + 1, \bar{N} + 2, \dots, \bar{N} + \bar{H}\} \quad (8)$$

gdzie:  $h$  – numer  $h$ -tego punktu pośredniego;  $\bar{H}$  – oznacza liczbę punktów pośrednich.

– zbioru  $O$  numerów odbiorców postaci (wzór 9)::

$$O = \{w \equiv o : \gamma(w) = 2, w \in W, o = \bar{N} + \bar{H} + 1, \bar{N} + \bar{H} + 2, \dots, \bar{N} + \bar{H} + \bar{O}\} \quad (9)$$

gdzie:  $o$  – numer  $o$ -tego odbiorcy;  $\bar{O}$  – oznacza liczbę odbiorców.

**Przy czym powyższe zbiory są rozłączne parami.**

Ponadto na potrzeby badań zdefiniowano zbiór numerów tras postaci (wzór 10):

$$T = \{t : t = 1, 2, \dots, \bar{T}\} \quad (10)$$

gdzie:  $t$  – numer  $t$ -tej trasy;  $\bar{T}$  – oznacza liczbę tras.

Powiązania między elementami opisują poszczególne zbiory odwzorowań połączeń między :

– CKŁ, a HUB'em (wzór 11):

$$L^{nh} = \{(n, h) : n \in N, h \in H\} \quad (11)$$

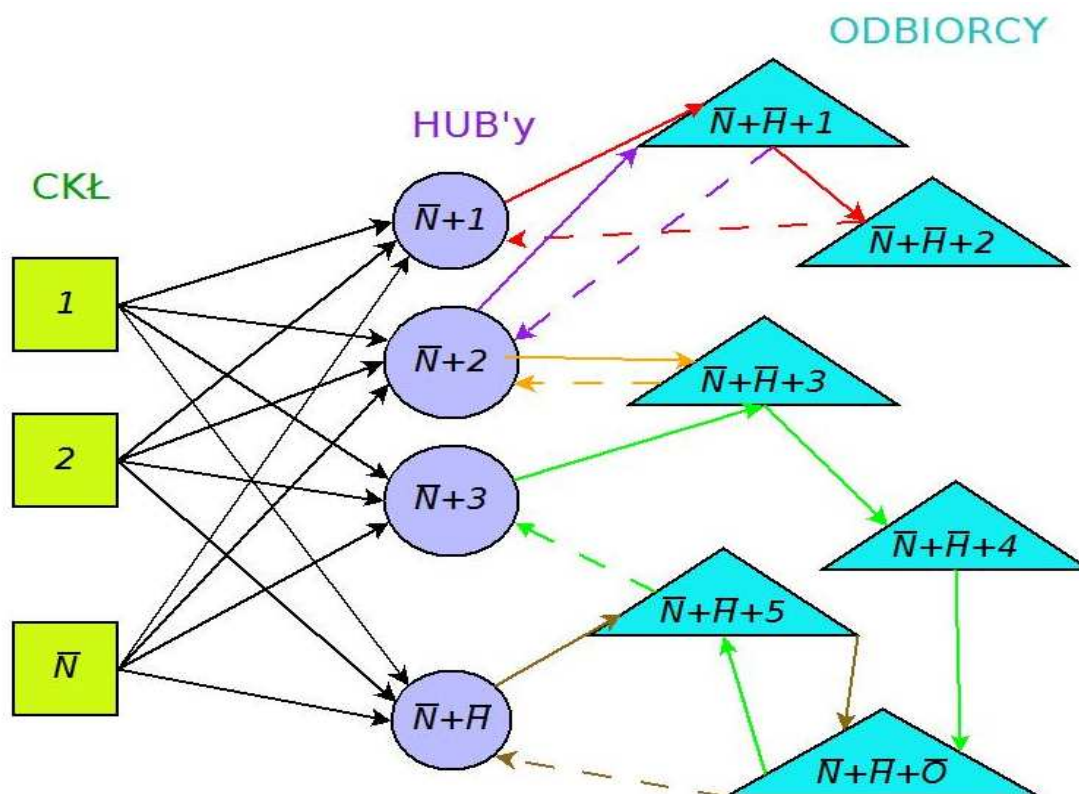
– HUB'em, a odbiorcą (wzór 12):

$$L^{ho} = \{(h, o) : h \in H, o \in O\} \quad (12)$$

– odbiorcami (wzór 13):

$$L^{oo'} = \{(o, o') : o \in O, o' \in O; o \neq o'\} \quad (13)$$

Graf struktury systemu dystrybucji w analizowanej problematyce przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura sieci transportowej opisana grafem

Źródło: opracowanie własne.

### 3. MODEL MATEMATYCZNY WIELOSZCZEBLOWEGO SYSTEMU DYSTRYBUCJI

W celu przedstawienia modelu matematycznego wieloszczebelowego systemu dystrybucji dla obsługi odbiorców zlokalizowanych na obszarach miejskich należy określić dane wejściowe, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcję kryterium. Odpowiednie zadanie optymalizacyjne uzyskano definiując następujące:

#### dla danych:

$G = \langle W, L \rangle$  – grafu struktury sieci transportowej;

$Z = [z_o: z_o \in \mathbb{C}^+ \cup \{0\}; o \in O]$  – macierzy zapotrzebowania odbiorców;

$D1 = [d_{nh}]$  – macierzy odległości między  $n$ -tym CKŁ, a  $h$ -tym HUB'em;

$D2 = [d_{ho}]$  – macierzy odległości między  $h$ -tym HUB'em, a  $o$ -tym odbiorcą;

$D3 = [d_{oo'}]$  – macierzy odległości między  $o$ -tym, a  $o'$ -tym odbiorcą

$D4 = [d_{o'h}] = [d_{ho}]^T$  – macierzy transponowanej – odległości między  $o'$ -tym odbiorcą, a  $h$ -tym HUB'em

$ks$  – kosztu stałego realizacji trasy z HUB'u;

$c_1(n,h)$  – kosztu przewozu jednostki ładunku na odległość 1 km między CKŁ, a HUB'em;

$c_2$  – kosztu przejazdu 1 km przez komiwojażera;

$q$  – ładowności pojazdu;

#### wyznać wartości zmiennych decyzyjnych o interpretacji:

– wielkości przewozu między  $n$ -tym CKŁ, a  $h$ -tym HUB'em zapisano macierzą (wzór 14):

$$X1 = [x_{nh}: x_{nh} \in \mathbb{C}^+ \cup \{0\}]_{N \times H} \quad (14)$$

– wielkości przewozu między  $h$ -tym HUB'em, a  $o$ -tym odbiorcą, podczas realizacji  $t$ -tej trasy zapisano macierzą (wzór 15);

$$X2 = [x_{ho}^t : x_{ho}^t \in C^+ \cup \{0\}]_{\bar{H} \times \bar{O} \times \bar{T}} \quad (15)$$

– wielkości przewozu między  $o$ -tym odbiorcą, a  $o'$ -tym odbiorcą, podczas realizacji  $t$ -tej trasy zapisano macierzą (wzór 16):

$$X3 = [x_{oo'}^t : x_{oo'}^t \in C^+ \cup \{0\}; o \neq o']_{\bar{O} \times \bar{O} \times \bar{T}} \quad (16)$$

– zmiennych binarnych określających istnienie połączenia między  $o'$ -tym odbiorcą, a  $h$ -tym HUB'em, podczas realizacji  $t$ -tej trasy zapisano macierzą (wzór 17):

$$Y = [y_{o'h}^t]_{\bar{O} \times \bar{H} \times \bar{T}} \quad (17)$$

$$\forall_{o' \in O} \forall_{h \in H} \forall_{t \in T} y_{o'h}^t = \begin{cases} 1 - \text{gdy } t - \text{ta trasa zawiera odcinek } (o', h) \\ 0 - \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

**przy ograniczeniach:**

popyt  $p_o$ , zgłoszony przez  $o$ -tego odbiorcę musi być zaspokojony (wzór 18):

$$\forall_{o \in O}; o \neq o' \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{o' \in O} [(x_{ho}^t + x_{o'o}^t)] = z_o \quad (18)$$

wielkość dostaw przychodzących z CKŁ do HUB'a musi być równa wielkości dostaw wychodzących z HUB'a (wzór 19):

$$\forall_{h \in H} \sum_{n \in N} x_{nh} = \sum_{t \in T} \sum_{o \in O} x_{ho}^t \quad (19)$$

liczba ładunków wychodząca z CKŁ musi być równa zapotrzebowaniu odbiorców (wzór 20):

$$\sum_{n \in N} \sum_{h \in H} x_{nh} = \sum_{o \in O} z_o \quad (20)$$

ładowność pojazdu na  $t$ -tej trasie nie może zostać przekroczona (wzór 21):

$$\forall_{t \in T} \forall_{h \in H} \forall_{o \in O} x_{ho}^t \leq q \quad (21)$$

pojazd wyjeżdżający z  $h$ -tego HUB'a musi do niego powrócić (wzór 22):

$$\forall_{t \in T} \forall_{h \in H} \sum_{o' \in O} y_{o'h}^t = \sum_{o \in O} x_{ho}^t = 1 \quad (22)$$

komiwojażer podczas realizacji  $t$ -tej trasy odwiedza  $o$ -tego odbiorcę tylko jeden raz (wzór 23):

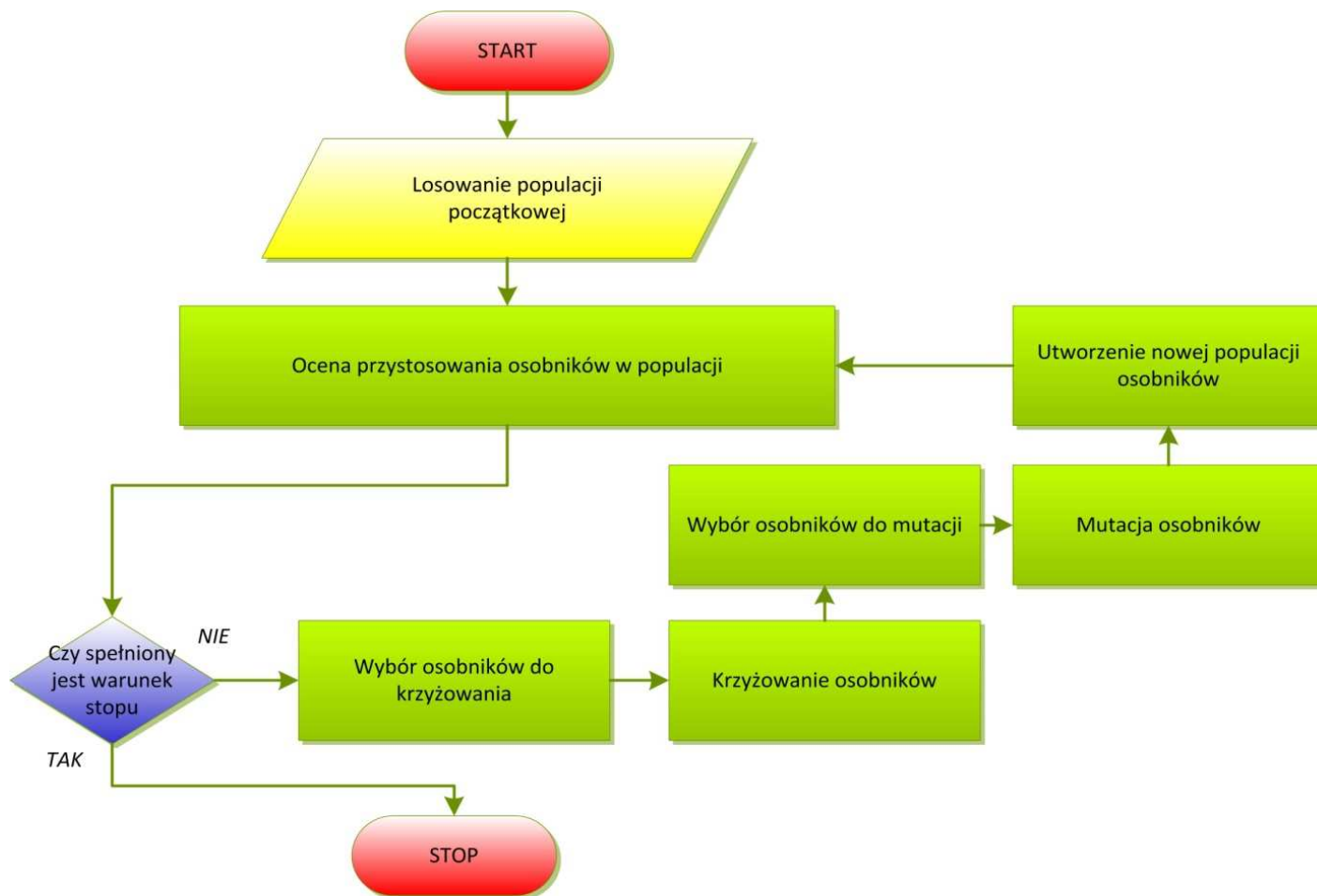
$$\begin{aligned} \forall_{t \in T} \forall_{h \in H} \forall_{o \in O} \text{sgn}(x_{ho}^t) &\leq 1 \\ \forall_{t \in T} \forall_{o \in O} \forall_{o' \in O}, o \neq o' \text{sgn}(x_{oo'}^t) &\leq 1 \\ \forall_{t \in T} \forall_{o' \in O} \forall_{h \in H} \text{sgn}(y_{o'h}^t) &= 1 \end{aligned} \quad (23)$$

**tak aby funkcja celu przyjmowała minimum (wzór 24):**

$$\begin{aligned} F(X1, X2, X3, Y) &= \sum_{n \in N} \sum_{h \in H} x_{nh} d_{nh} c_1(nh) + \\ &+ \sum_{t \in T} \left[ \left( \sum_{h \in H} \sum_{o \in O} \text{sgn}(x_{ho}^t) d_{ho} + \sum_{o \in O} \sum_{o' \in O} \text{sgn}(x_{oo'}^t) d_{oo'} + \sum_{o \in O} \sum_{h \in H} y_{o'h}^t d_{o,h} \right) c_2 \right] + \\ &+ \bar{T} \cdot ks \rightarrow \min \end{aligned} \quad (24)$$

#### 4. ALGORYTM GENETYCZNY JAKO METODA ROZWIĄZANIA PROBLEMU PLANOWANIA TRAS W WIELOSZCZEBLOWYCH SYSTEMACH DYSTRYBUCJI

Algorytmy genetyczne opierają się na zasadach doboru naturalnego i dziedziczności. Algorytmy te oparte są o obserwacje naturalnych mechanizmów biologicznych, podlegających ewolucji. Uproszczony schemat działania przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat działania algorytmu genetycznego

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

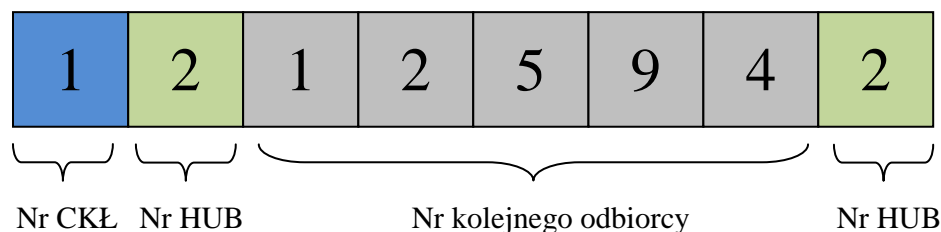
Do rozwiązania problemu wykorzystano algorytm genetyczny, zaimplementowany w autorskiej aplikacji. Poszukiwanie rozwiązań za pomocą algorytmu genetycznego składa się z trzech głównych procedur:

- losowanie populacji początkowej,
- krzyżowanie,
- mutacja.

Procedura losowania przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych służy jedynie do wyznaczenia początkowej populacji reprezentującej rozwiązanie dopuszczalne. Istotnym elementem jest zaprojektowany chromosom osobnika. Pierwszy gen osobnika odpowiada za nr CKŁ, drugi jak i ostatni reprezentuje nr HUB'a, geny znajdujące się pomiędzy genami HUB'ów określono jako geny trasy i reprezentują nr kolejnych odbiorców odwiedzanych w trakcie realizacji trasy. Przykładowy chromosom osobnika przedstawiono na rys. 5.

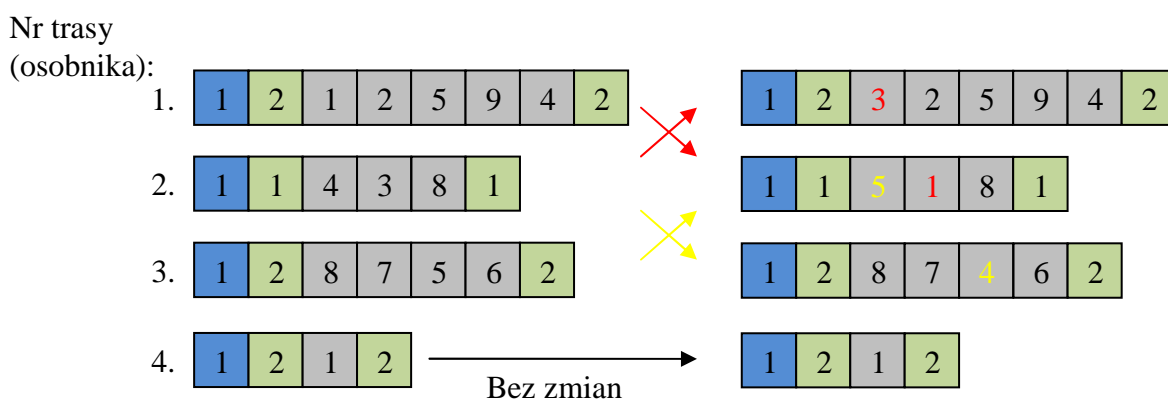
Kolejnym elementem w algorytmie genetycznym jest krzyżowanie. Jest jednym z najważniejszych elementów algorytmu genetycznego. Odpowiada za poprawę kolejnych wyznaczanych rozwiązań, przy czym nie może się to odbywać zupełnie przypadkowo. Do tworzenia populacji potomnych krzyżuje się najlepszych osobników. Przy czym w implementacji użyto podejścia *Pittsburg*, a więc zasady w której

każdy z osobnik współpracuje ze sobą w celu osiągnięcia jak najlepszej wartości oceny dla całej populacji. Metoda krzyżowania polega na wymianie genów tras dla których liczba odbiorców jest większa od 1. Pozostali osobnicy reprezentują tak zwane dostawy bezpośrednie i podlegają tylko operacji mutacji. Przykład krzyżowania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 5. Przykładowy chromosom osobnika

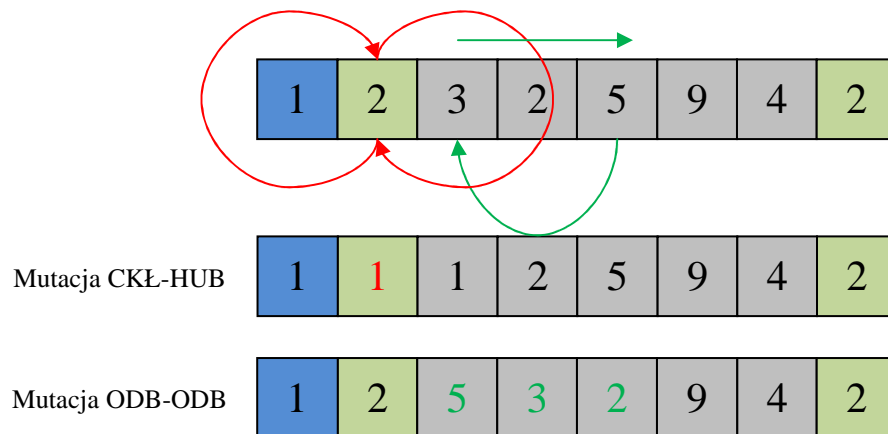
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Przykładowa operacja krzyżowania osobników

Źródło: opracowanie własne.

Mutacja jest bardzo ważnym mechanizmem z punktu widzenia dokładności przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Dzięki temu operatorowi istnieje możliwość zmiany genów w zakresie tylko jednego osobnika. W algorytmie użyto dwóch rodzajów operatorów mutacji. Przy czym operator dotyczący relacji CKŁ-HUB polega na zamianie zakodowanego w genie osobnika numeru CKŁ oraz HUB. Natomiast dla relacji ODBIORCA-ODBIORCA działa na zasadzie zamiany miejsc czyli na przemieszczeniu losowego genu w losowe miejsce. Kolejne geny w wyniku tej operacji przesuwają się o jedno miejsce. Przykład mutacji genów osobnika przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Przykładowa operacja mutowania osobników

Źródło: opracowanie własne.

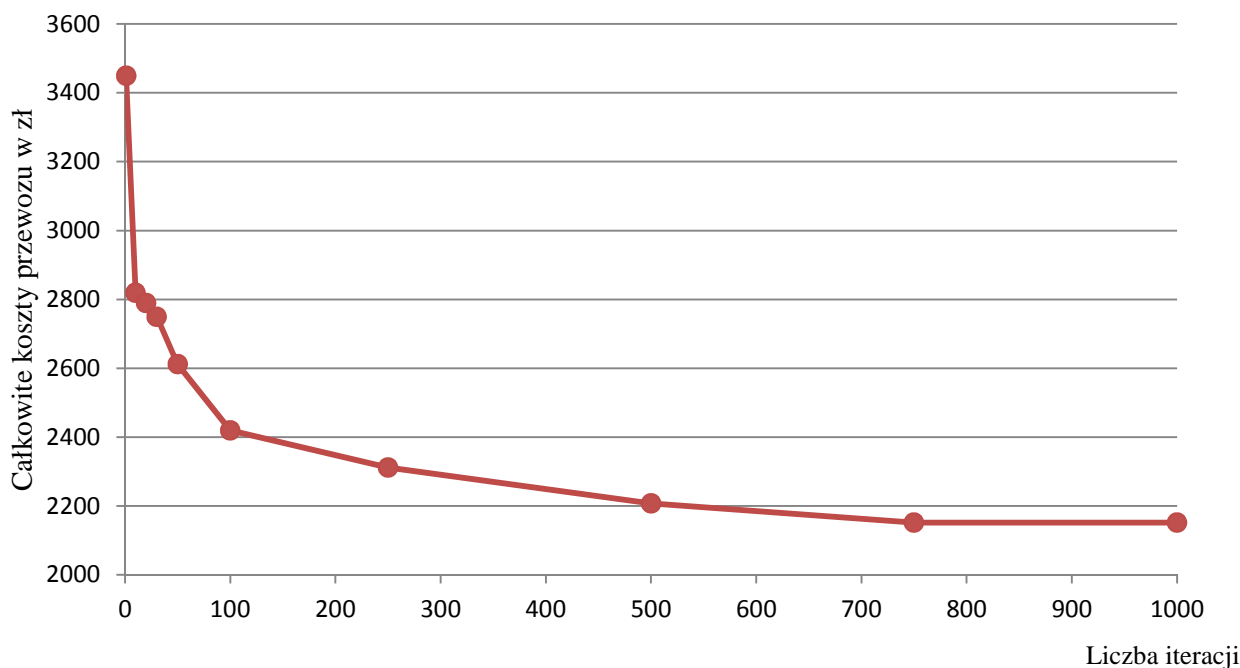


Przy wykorzystaniu powyższych operatorów uzyskuje się populacje potomne z populacji rodzicielskiej. Po zakończeniu krzyżowania oraz mutacji następuje ocena osobnika oraz zakończenie iteracji. Liczba iteracji jest bezpośrednio związana z uzyskanym wynikiem. W zależności od liczby iteracji otrzymuje się coraz to lepsze rozwiązanie jednak po osiągnięciu pewnej wartości funkcji kryterium rozwiązanie się nie poprawia. Jest to spowodowane zbliżeniem się do rozwiązania optymalnego bądź jego osiągnięciem

## 5. PODSUMOWANIE

Problematyka modelowania wieloszczeblowych systemów dystrybucji na terenach zurbanizowanych jest złożona i obszerna. W artykule przedstawiono przykład rozwiązania problemu optymalizacji tras w takim systemie przy uwzględnieniu Centrów Konsolidacji Ładunków oraz miejskich punktów przeładunkowych tzw. HUB'ów.

W artykule zaprezentowano algorytm genetyczny jako metodę optymalizacji tras w dystrybucji na obszarach aglomeracji miejskich. Przedstawiony problem jest oparty o tzw. problem wielu komiwojazerów. Złożoność obliczeniowa przybiera postać wielomianu, a więc problem ten należy do klasy problemów NP. Przedstawiona implementacja algorytmu genetycznego działa poprawnie i przyczynia się do poprawy znajdującego rozwiązania w kolejnych iteracjach. Wykres efektywności działania algorytmu dla 1000 iteracji na przykładowych danych zaprezentowano na rys. 8.



Rys. 8. Wykres efektywności obliczeń rozwiązywanego problemu z wykorzystaniem algorytmu genetycznego  
*Źródło: opracowanie własne na podstawie wydruków z wykonanej aplikacji.*

**Streszczenie**

W artykule zamieszczono rozważania dotyczące problematyki optymalizacji tras w dystrybucji ładunków na terenach miejskich w wieloszczeblowych systemach dystrybucji. Przedstawiono charakterystykę wieloszczeblowych systemów dystrybucji. Dokonano formalizacji modelu sieci transportowej miasta oraz sformułowano zadanie optymalizacyjne. Zaproponowano i opisano algorytm do rozwiązania problemu optymalizacji tras w oparciu o rozwiązanie problemu wielu komiwojazerów.

Słowa kluczowe: logistyka miejska, optymalizacja tras, wieloszczeblowe systemy dystrybucji, problem wielu komiwojazerów.

**Problem of route optimization in cargo distribution in urban areas****Abstract**

In article described the considerations for routing problems in the distribution of goods in urban areas in multistage distribution systems. Characteristics of the multistage distribution systems were presented. Model formalization for the city transport network and optimization problem formulation were made. Proposed and described a genetic algorithm to solve the problem of route optimization based on the solution of the problem of many salesmen.

Keywords: city logistics, route optimization, multistage distribution systems, multiple traveling salesman problem.

**LITERATURA**

- [1] Ambroziak T., Jachimowski R.: Problematyka obsługi transportowej w jednoszczeblowym systemie dystrybucji. *Logistyka* 4/2011
- [2] Ambroziak T., Jacyna M., Wasiak M.: The Logistic Services in a hierarchical distribution System. *Transport Science and Technology*. ELSEVIER. Chapter 30. ISBN-13: 978-0-08-044707-0 (ISBN-10: 0-08-044707-4) DEC-2006
- [3] Ambroziak T., Pyza D.: Wybrane aspekty modelowania systemów przewozowych. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2009
- [4] Bluszcz M., Jacyna M.: Koncepcja modelu obsługi logistycznej miasta. *Logistyka* 4/2010
- [5] Dietrich W.: Freight Transport Strategy for the City of Zurich. Materiały konferencyjne 4-tych warsztatów BESTUFS, Zurich 2006
- [6] Fijałkowski J.: Centrum Konsolidacji Ładunków dla obsługi logistycznej miasta. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2010
- [7] Gołemska E., Czajka P., Tomaszewska D.: *Logistyka miejska XXI wieku*. *Eurologistics* 3/2001
- [8] Jacyna M.: The role of Cargo Consolidation Center in urban logistic system. *Urban Transport XII*, WIT Press 2011
- [9] Jacyna M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009
- [10] Jacyna M., Murawski J., Szczepański E.: Optymalizacja dostaw drewna w relacji nadleśnictwo - zakład produkcyjny z wykorzystaniem pakietu OOT\_1. *Logistyka* 4/2011
- [11] McCollom N., Blank L.: Simulation Model For Multi Level Distribution Planning. ANSS '79 Proceedings of the 12th annual symposium on Simulation, New Jersey 1979r., USA
- [12] Michalkiewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. WNT, Warszawa 2003
- [13] Zomer G.R.: Optimisation of Urban Freight Systems by strategic co-operations. materiały konferencyjne LIFE-CEDM, Lucca 2008.