

**Piotr PRYCIŃSKI**

Politechnika Warszawska, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa  
e-mail: pprycinski@gmail.com

## **WYBRANE ASPEKTY WYZNACZANIA PLANÓW PRZEWOZÓW DLA KLIENTÓW W OBSZARACH MIEJSKICH PRZY OGRANICZONYCH ZASOBACH CZASOWYCH**

### **Streszczenie:**

Przedmiotem artykułu jest zagadnienie wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich. Ze względu na znaczną złożoność problemu w artykule przedstawiono wybrane elementy opracowywanej metody VRPC oraz wyniki dotychczasowych analiz. Opisano próbę opracowania metody pozwalającej na sprawne wyznaczanie planów przewozów w obszarach miejskich w sposób dynamiczny, która przyczyni się do efektywniejszego zarządzania pojazdami w aglomeracjach miejskich. Artykuł zawiera teoretyczne analizy problem oraz wyniki zrealizowanych badań.

Słowa kluczowe: logistyka miejska, wyznaczenie planów/tras przewozu, koszty transportu

### **WSTĘP**

Celem logistyki miejskiej analizując jedynie aspekt transportu towarowego jest łagodzenie i rozwiązywanie konfliktów wynikających z funkcjonowania przepływów ładunków w mieście. Problem logistyki miejskiej opisywany jest w literaturze polskiej: Gołemska E.(2010), Jacyna M.(2009), Szoltysek J.(2007), Fijałkowski J. (2008) bez wskazania precyzyjnych rozwiązań dla sprawnego organizowania i wyznaczania planów przewozów w obszarach silnie zurbanizowanych. W nieco inny sposób problem logistyki miejskiej jest przedstawiany w literaturze zagranicznej Morris A.G., Russo F, Tundys B (2008), Crainic (2007), Ricciardi, Nicoletta; Storchi, Woudsma (2008), Clarence (2008); Jensen, John F.; Kanaroglou, Pavlos; Maoh jednakże i w tym przypadku brak jest wyraźnych rozwiązań dla wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich. W przypadku zagadnienia wyznaczania planów przewozów VRPTW (Vehicle Routing Problem Time Windows) w obszarach miejskich przestrzeń i infrastruktura miejska są często powodem wielu konfliktów. W analizie powyższego problemu badawczego istotne jest uwzględnienie wielu czynników mających znaczący wpływ na proces dystrybucji miejskiej. Należy tu wspomnieć o zjawisku zwiększonego natężenia ruchu w szczycie porannym i popołudniowym oraz zjawisku kongestii. Należy pamiętać także o aspekcie przestrzennym struktury miejskiej związanym ze sposobem organizacji ruchu tzn. ograniczeniami w ruchu oraz wyróżnieniem możliwych połączeń jednokierunkowych, oknach czasowych realizacji dostaw, braku symetryczności kosztów transportu oraz asymetrycznej strukturze sieci transportowej. Powyższe czynniki decydują o specyfice problemu wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich i odróżniają go od problemu wyznaczania planów przewozów dla obszarów poza miejskich. Problem VRP opisywany jest w wielu pozycjach literatury Crainic (2005) , Thangiah (1995), Homberger, Gehring (1999), Berger (2003), Potvin, Bengio (1996), Le Bouthillier, Fahle (1999), Chiang (1997), Szymanowski , Cegieła, Prokuratorowski (1984), Ogryczak (1988), Leszczyński (2006), Potvin, Rousseau (1995), Russel

(1995), Schrimpf, Schneider (2000), Cordone, Wolfler-Calvo (2001), Braysy (2003), Fisher, Toth (1987), Vigo (1987) i nie jest dedykowany wyłącznie przewozom ładunków. Problem wyznaczania planów przewozu jako nieodłączny fragment systemu dystrybucji miejskiej wymaga wyszczególnienia, który klient musi być obsłużony przez dany środek transportu. W analizowanym problemie w pierwszej kolejności definiowane są okna czasowe obsługi poszczególnych odbiorców a następnie wyznaczane są plany przewozów. Podobnie jak w metodzie milk – runs w analizowanym problemie występują dostawy bezpośrednie, z którymi nieodłącznie związane są okna czasowe realizacji dostaw. Plany przewozów wyznaczane są w taki sposób by zminimalizować łączne koszty wykonywanych usług transportowych przy spełnieniu ograniczeń w postaci określonych ładowności pojazdów oraz realizacji dostaw do odbiorców w określonych oknach czasowych. W klasycznym modelu problemu wyznaczania planów przewozu, definiowanym w literaturze anglojęzycznej jako „The Vehicle Routing Problem (VRP)” wyróżnia się środki transportu, które pod względem posiadanych charakterystyk są jednakowe i wykonują przewozy między centrami konsolidacji ładunków a odbiorcami. Rzeczywisty problem wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich jest dużo bardziej skomplikowany. Zaprezentowane w artykule dotychczasowe wyniki prac nad opracowaniem metody wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich odnoszą się do rzeczywistych warunków miejskich. Należy nadmienić, że coraz częściej plany przewozów dla środków transportu obsługujących systemy dystrybucyjne wyznaczane są przy pomocy specjalistycznych narzędzi komputerowych zapewniających skrócenie czasu trwania procesu decyzyjnego oraz redukcję kosztów. Planowanie i projektowanie wspomagane komputerowo pozwala osiągnąć istotę logistyki, którą jest zarządzanie przepływem ładunków w taki sposób, by przepływ strumieni ładunków od dostawców do odbiorców był bezzakłócenowy. W artykule scharakteryzowano w skrócie miejski obszar współdziałania środków transportu, scharakteryzowano główne elementy struktury transportowej, węzły oraz połączenia transportowe występujące pomiędzy poszczególnymi elementami analizowanego systemu dystrybucji. Przedstawiono wybrane charakterystyki sieci transportowej oraz sformułowano zadanie optymalizacyjne dla obsługi klientów w obszarach miejskich przy ograniczonych zasobach czasowych. Plany przewozów w przedstawionym przykładzie obliczeniowym generowane były w sposób dynamiczny, są wynikami uzyskanymi w zakresie przygotowań do opracowania metody VRPC wyznaczającej plany przewozów w obszarach miejskich.

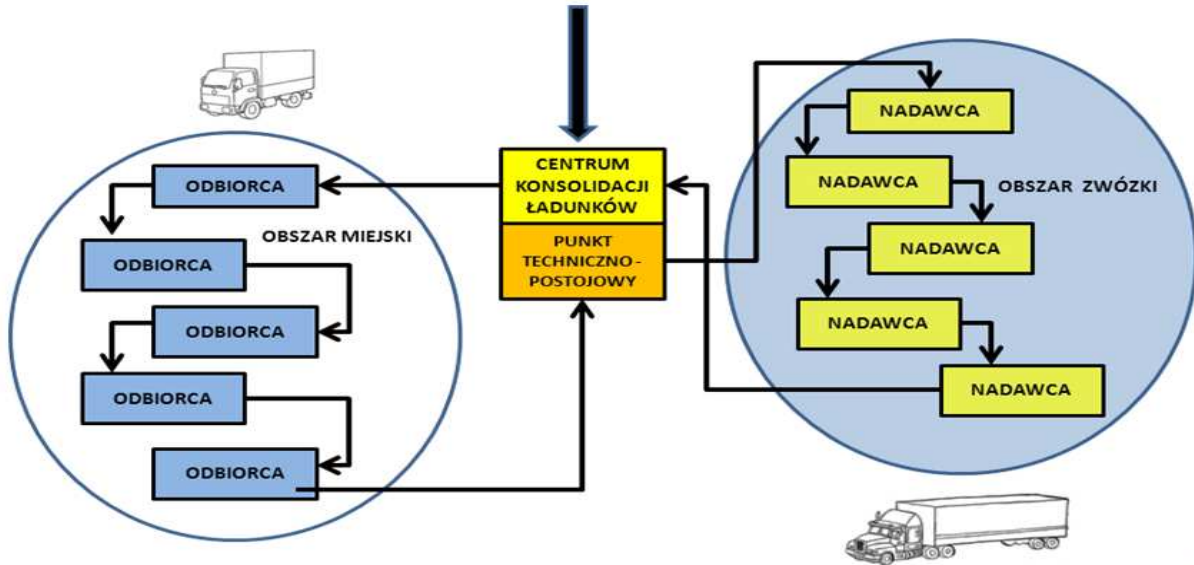
## 1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU DYSTRYBUCJI MIEJSKIEJ

Zagadnienie wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich jest problemem bardzo złożonym, a tym samym trudnym. Opracowanie metody pozwalającej na sprawne wyznaczanie planów przewozów w obszarach miejskich w sposób dynamiczny przyczyni się do sprawniejszego zarządzania pojazdami w firmach zajmujących się dystrybucją miejską. Zagadnienie logistyki miejskiej w literaturze przedmiotu opisywane jest bardzo pobieżnie, bez wskazania metod rozwiązania problemu sprawnej dystrybucji w obszarach miejskich. W literaturze przedmiotu definiowane są dwa główne typy systemów logistyki miejskiej:

- jednoszczeblowy system logistyki miejskiej,
- dwuszczeblowy system logistyki miejskiej.

Ze względu na istotę problemu wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich właściwym typem systemów logistyki miejskiej poddanym wnikliwej ocenie i analizie w kontekście opracowywanej metody VRPC jest jednoszczeblowy system logistyki miejskiej. Jednoszczeblowy system składa się bowiem z centrów konsolidacji ładunków ulokowanych w obszarach miejskich oraz klientów zgłaszających zapotrzebowanie na przewóz w ściśle

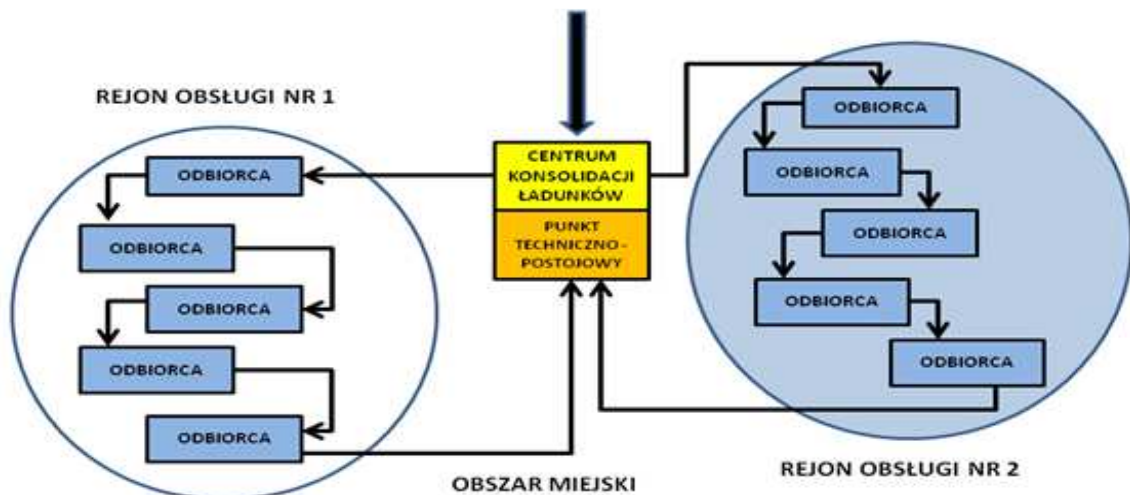
zdefiniowanych oknach czasowych. W systemach dwuszczeblowych pojawia się problem „zwózki” od wielu dostawców do centrum konsolidacji ładunków. Jest to problem będący rozwinięciem zagadnienia wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich. Opracowywana metoda VRPC może być w przyszłości przystosowana do kompleksowej obsługi transportowej wewnątrz i zewnątrz obszarów miejskich.



Rys.1. Schemat dwuszczeblowego systemu logistyki miejskiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

W analizowanym problemie ładunki nadawane są z centrów konsolidacji ładunków i dostarczane do klientów zgłaszających swoją dyspozycyjność na obsługę w ściśle zdefiniowanych oknach czasowych. Pojazdy wykonujące przewozy mogą wielokrotnie po obsłużeniu danej grupy klientów powracać do centrum konsolidacji ładunków po nowe zlecenia.





Rys.2. Schemat jednoszczeblowego systemu logistyki miejskiej.

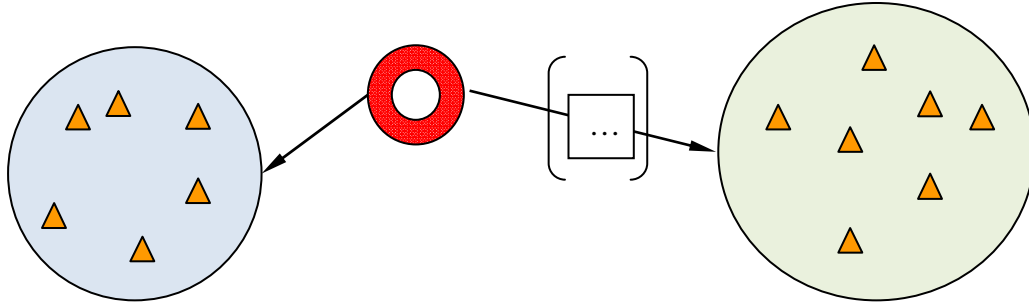
Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

Analiza dostępnej literatury potwierdza bogactwo metod wyznaczania planów przewozów (VRP) oraz wiele koncepcji i podejść do zagadnienia logistyki miejskiej. W literaturze brak wyraźnego połączenia zagadnienia wyznaczania przewozów w obszarach miejskich z uwzględnieniem problemu przestrzennego przewozów. Prezentowane są pojedyncze analizy problemu wyznaczania planów przewozów. Nie podjęto próby połączenia

planów przewozów z logistyką miejską z uwzględnieniem rzeczywistych warunków przestrzennych miasta.

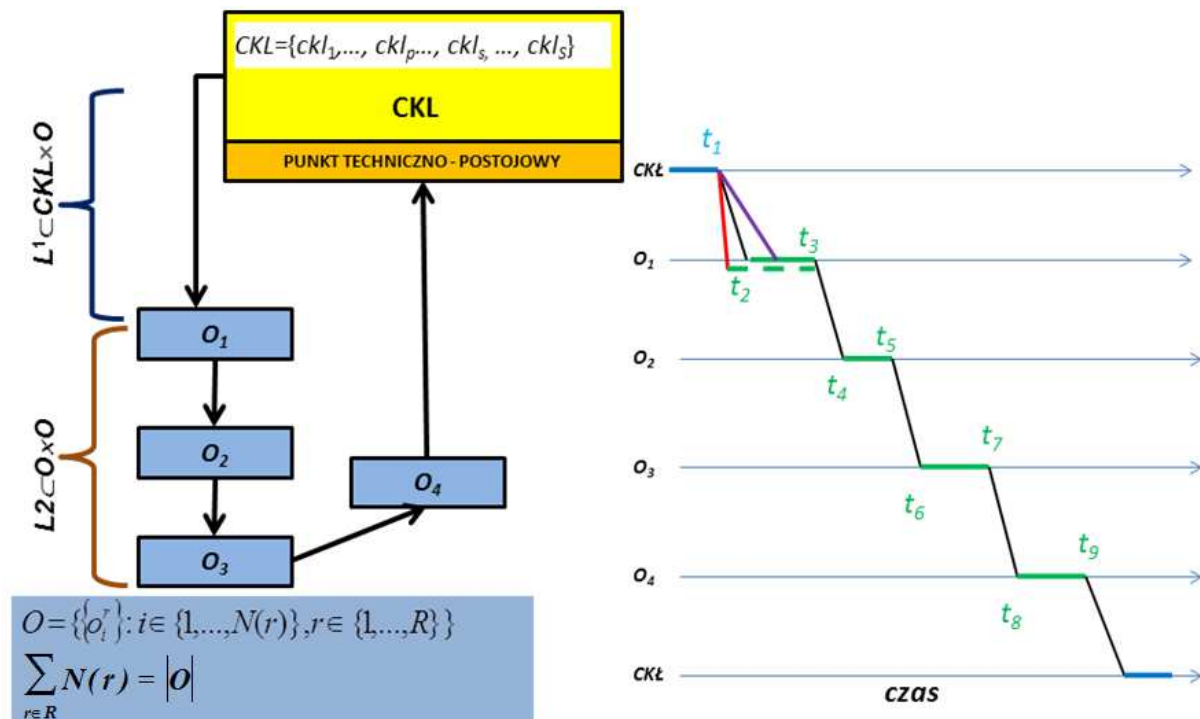
W strukturze jednoszczeblowego systemu logistyki miejskiej można wyróżnić dwa zasadnicze elementy:

- Centra Konsolidacji Ładunków **CKL**,  których zadaniem jest obsługa klientów zgłaszających zapotrzebowanie na przewóz w określonych rejonach obsługi,
- Lokalni odbiorcy ładunków **O**  zgłaszający zapotrzebowanie na przewóz do Centrów Konsolidacji Ładunków.



Rys 3. Graficzna ilustracja elementów jednoszczeblowego systemu logistyki miejskiej.

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.



Rys 4. Elementy jednoszczeblowego systemu logistyki miejskiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

## 2. CHARAKTERYSTYKA SIECI TRANSPORTOWEJ W OBSZARZE DZIAŁANIA ŚRODKÓW TRANSPORTOWYCH MIEJSKIEGO SYSTEMU LOGISTYKI

Przyjęto, że struktura sieci transportowej analizowanego obszaru przedstawia się w postaci grafu  $G$ , tj:

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

gdzie:

**W** – jest zbiorem elementów struktury analizowanego systemu dystrybucji, którymi są wierzchołki grafu struktury sieci transportowej. Wierzchołki utożsamiane są z istniejącymi w rzeczywistości węzłami transportowymi zlokalizowanymi na terenie aglomeracji warszawskiej.

**L** – jest zbiorem elementów struktury analizowanego systemu, którymi są łuki grafu struktury sieci transportowej. Łuki utożsamiane są z istniejącymi połączeniami transportowymi, elementami istniejącej infrastruktury liniowej na terenie aglomeracji warszawskiej między poszczególnymi węzłami transportowymi **W**.

Ponadto przyjmuje się, że zbiór **W** jest sumą zbiorów **CKL**, **O** tj.

$$W = CKL \cup O \quad (2)$$

gdzie:

**CKL** – jest zbiorem numerów Centrów Konsolidacji Ładunków,

$$CKL = \{ckl_1, \dots, ckl_p, \dots, ckl_s, \dots, ckl_S\}$$

**O** – jest zbiorem numerów odbiorców ładunków,

$$O = \{o_i^r : i \in \{1, \dots, N(r)\}, r \in \{1, \dots, R\}\}$$

Charakterystykę węzłów wchodzących w skład analizowanej struktury sieci transportowej i ich wzajemnych zależności można przedstawić następująco. Zakłada się, że na iloczynie kartezjańskim  $CKL \times O$  zadane jest odwzorowanie  $\alpha$  postaci:

$$\alpha : CKL \times O \rightarrow \{0,1\} \quad (3)$$

Przy czym:  $\alpha(s,i) = 1$  wtedy i tylko wtedy, gdy  $i$  – ty odbiorca w  $r$  – tym rejonie obsługi jest obsługiwany przez  $s$  – te Centrum Konsolidacji Ładunków. W przeciwnym przypadku  $\alpha(s,i) = 0$ . Zatem zbiór klientów **O** obsługiwanych przez centra konsolidacji ładunków **CKL** będzie zbiorem postaci:

$$O(s) = \{r : \alpha(s,i) = 1, r \in O\} \quad (4)$$

Mamy zatem zidentyfikowane te elementy analizowanej struktury systemu logistyki miejskiej (rys.3) jakimi są wierzchołki grafu **G**. Stosując podobne rozumowanie można scharakteryzować krawędzie grafu **G**, będące odwzorowaniem rzeczywistych połączeń transportowych między poszczególnymi elementami systemu dystrybucji miejskiej. By zidentyfikować elementy infrastruktury liniowej wchodzące w skład analizowanej sieci transportowej konieczne jest przyjęcie założenia, że na iloczynie kartezjańskim  $CKL \times O$  zadane jest odwzorowanie  $a$  postaci:

$$a : CKL \times O \rightarrow \{0,1\} \quad (5)$$

Przyjmuje się, że  $a(s,i) = 1$  wtedy i tylko wtedy gdy istnieje połączenie transportowe między  $s$  – tym centrum konsolidacji ładunków a  $i$  – tym odbiorcą. W przeciwnym przypadku  $a(s,i) = 0$ , co interpretuje się jako brak połączenia transportowego występującego między centrum konsolidacji ładunków a odbiorcą. Zbiór łuków łączących klientów z centrum konsolidacji ładunków można zapisać następująco:

$$L^1 = \{(s,i) : a(s,i) = 1, s \in CKL, i \in O\} \quad (6)$$

Przyjmując, że na iloczynie kartezjańskim  $O \times O$  zadane jest odwzorowanie  $b$  postaci:

$$b : O \times O \rightarrow \{0,1\} \quad (7)$$

można zidentyfikować wszystkie połączenia transportowe występujące między klientami.

Przyjmuje się wówczas, że  $b(i, i') = 1$  wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje połączenie transportowe od  $i$  – tego klienta do  $i'$  – tego klienta. W przeciwnym przypadku  $b(i, i') = 0$  czyli brak jest fizycznego połączenia transportowego między klientami.

Zbiór łuków łączących klientów można zapisać w postaci zbioru  $L^2$ :

$$L^2 = \{(i, i') : b(i, i') = 1, i \in O, i' \in O\} \quad (8)$$

W strukturze analizowanego systemu zbiór łuków  $L$  czyli połączeń transportowych występujących między wszystkimi wierzchołkami struktury jest sumą zbiorów  $L^1$ ,  $L^2$  co zapisać można w postaci:

$$L = L^1 \cup L^2 \quad (9)$$

Należy podkreślić, że w przypadku realizacji dostaw w obszarach miejskich macierze odległości pomiędzy poszczególnymi elementami analizowanej struktury są asymetryczne zatem występują tzw. Blokady między niektórymi węzłami struktury.

Tym samym zidentyfikowane zostały wszystkie elementy punktowe struktury sieci transportowej analizowanego miejskiego systemu dystrybucji. By dokonać pełnego opisu struktury analizowanej sieci transportowej należy zdefiniować potrzeby transportowe poszczególnych elementów systemu dystrybucji oraz należy także scharakteryzować ładunki będące przedmiotem przewozu. Ponadto by oddać rzeczywisty charakter realizacji przewozów w obszarach miejskich konieczne jest uwzględnienie w dalszych analizach takich elementów jak:

- Okna czasowe dostaw – okresy przewidziane na dostawę,
- Konsekwencje finansowe niewłaściwej obsługi klientów,
- Czas pracy kierowców, heterogeniczność pojazdów i przedmiotów przewozu,
- Kongestię ruchu w obszarach miejskich,
- Obsługę klientów według zdefiniowanych uprzednio obszarów,
- Problem organizacji ruchu w mieście,
- Okresy ograniczonej dostępności do wybranych stref miejskich,
- Dynamiczne modyfikowanie zleceń/planów przewozów,

Celem opracowywanej metody VRPC dla powyżej opisanej struktury będzie:

- minimalizacja liczby pojazdów wymaganych do obsłużenia wszystkich klientów,
- minimalizacja kar związanych z nieterminowym obsługiwaniem klientów,
- obsługa odbiorców w zdefiniowanych oknach czasowych,
- dobór właściwych dróg poprzez aspekt czasu dostawy i ładowności pojazdu,
- usprawnienie czynności związanych z dystrybucją ładunków przy wykorzystaniu, mniejszych, bardziej uniwersalnych pojazdów poruszających się po miastach,
- uwzględnienie ograniczonej dostępności do centralnych stref miejskich,
- przypisanie odbiorców do zdefiniowanego rejonu obsługi,
- minimalizacja globalnych kosztów transportu, zależnych od pokonywanych przez pojazdy dystansów oraz od kosztów użytkowania pojazdów.

### 3. SFORMUOWANIE ZADANIA OPTYMALIZACYJNEGO

#### A. Założenia

Zakłada się, że Centra Konsolidacji Ładunków **CKL** mają do dyspozycji wyróżnione środki transportu, którymi ładunki są przewożone klientów **O**. Podobnie zakłada się, że każdy odbiorca  $o$ ,  $o \in O$  jest przypisany do  $r$  - tego rejonu obsługi i jest obsługiwany w ściśle zdefiniowanym oknie czasowym dostaw.

#### B. Dane

- $n(ckl_s, p_k)$  – Liczba  $p_k$  - tego rodzaju pojazdów będących w dyspozycji  $ckl_s$  - tego centrum konsolidacji ładunków,
- $q(o_i^r)$  – Wielkość zapotrzebowania  $i$  - tego odbiorcy towarów w  $r$  - tym rejonie obsługi,
- $q(p_k)$  – Ładowność środka transportu  $p_k$  - tego rodzaju,
- $t_1(ckl_s), t_2(ckl_s)$  – Chwile rozpoczęcia i zakończenia pracy centrum konsolidacji ładunków,
- $a(o_i^r)$  – Początek okna czasowego realizacji dostaw u  $i$  - tego odbiorcy w  $r$  - tym rejonie obsługi,
- $b(o_i^r)$  – Koniec okna czasowego realizacji dostaw u  $i$  - tego odbiorcy w  $r$  - tym rejonie obsługi,
- $t(p_k)$  – Maksymalny czas pracy środka transportu  $p_k$  - tego rodzaju,
- $k(p_k)$  – Koszt pokonania 1 km przez środek transportu  $p_k$  - tego rodzaju,
- $V_1(td_h)$  – Średnia prędkość przejazdu  $td_H$  - typem drogi w szczycie porannym,
- $V_2(td_h)$  – Średnia prędkość przejazdu  $td_H$  - typem drogi w szczycie popołudniowym,
- $V(td_h)$  – Średnia prędkość przejazdu  $td_H$  - typem drogi poza godzinami szczytu,
- $N(td_h)$  – Maksymalna nośność  $td_H$  - typu drogi,
- $R(t_L)$  – Rodzaj opakowania  $t_L$  - tej grupy ładunkowej,
- $\langle t_1, t_2 \rangle$  – Chwile rozpoczęcia i zakończenia szczytu porannego,
- $\langle t'_1, t'_2 \rangle$  – Chwile rozpoczęcia i zakończenia szczytu popołudniowego,
- $LR(ckl_s)$  – Liczba rejonów obsługi przypisanych do  $ckl_s$  - tego centrum konsolidacji ładunków,
- $t_1(o_i^r)$  – Początek obsługi  $i$  - tego odbiorcy w  $r$  - tym rejonie obsługi,
- $t_2(o_i^r)$  – Koniec obsługi  $i$  - tego odbiorcy w  $r$  - tym rejonie obsługi,

Macierze odległości między punktowymi elementami struktury transportowej:

$$W = \left| \begin{array}{c|c} W & W \\ \hline \begin{array}{c} 1 \\ W \\ 3 \end{array} & \begin{array}{c} 2 \\ W \\ 4 \end{array} \end{array} \right|$$

$$W_1 = \left| w_{o_n^r, o_{n+1}^r} \right| \quad W_3 = \left| w_{ckl_s, o_i^r} \right|$$

$$W_4 = \left| w_{ckl_p, ckl_s} \right| \quad W_2 = \left| w_{o_i^r, ckl_s} \right|$$

C. Zmienne decyzyjne

$$X(p_k, ckl_s, o_i^r, o_j^r) \begin{cases} 1, \text{ jeżeli łuk } (o_i, o_j) \text{ w } r\text{-tym rejonie obsługi wchodzi do trasy pojazdu } \\ p_k\text{-tego rodzaju przydzielonego do } ckl_s\text{-tego centrum konsolidacji} \\ \text{ładunków;} \\ 0, \text{ w przeciwnym przypadku,} \end{cases}$$

$$Y(p_k, td_h, ckl_s, o_i^r) \begin{cases} 1, \text{ jeżeli pojazd } p_k\text{-tego rodzaju przemieszcza się z } ckl_s\text{-tego centrum} \\ \text{konsolidacji ładunków do } i\text{-tego odbiorcy w } r\text{-tym rejonie obsługi po} \\ \text{drodze } td_h\text{-tego typu;} \\ 0, \text{ w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$Z(o_i^r, ckl_s) \begin{cases} 1, \text{ jeżeli } i\text{-ty odbiorca został przydzielony do } r\text{-tego rejonu obsługi} \\ \text{przypisanego do } ckl_s\text{-tego centrum konsolidacji ładunków;} \\ 0, \text{ w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

- $T(p_k, o_i^r)$  Moment przyjazdu pojazdu  $p_k$ -tego rodzaju do  $i$ -tego odbiorcy w  $r$ -tym rejonie obsługi
- $T(p_k, ckl_s)$  Moment przyjazdu pojazdu  $p_k$ -tego rodzaju do  $ckl_s$ -tego centrum konsolidacji ładunków
- $da(o_i^r)$  Wielkość naruszenia okna czasowego  $i$ -tego odbiorcy z powodu zbyt wczesnej próby jego obsługi w  $r$ -tym rejonie obsługi
- $db(o_i^r)$  Wielkość naruszenia okna czasowego  $i$ -tego odbiorcy z powodu zbyt późnej próby jego obsługi



D. Funkcja kryterium

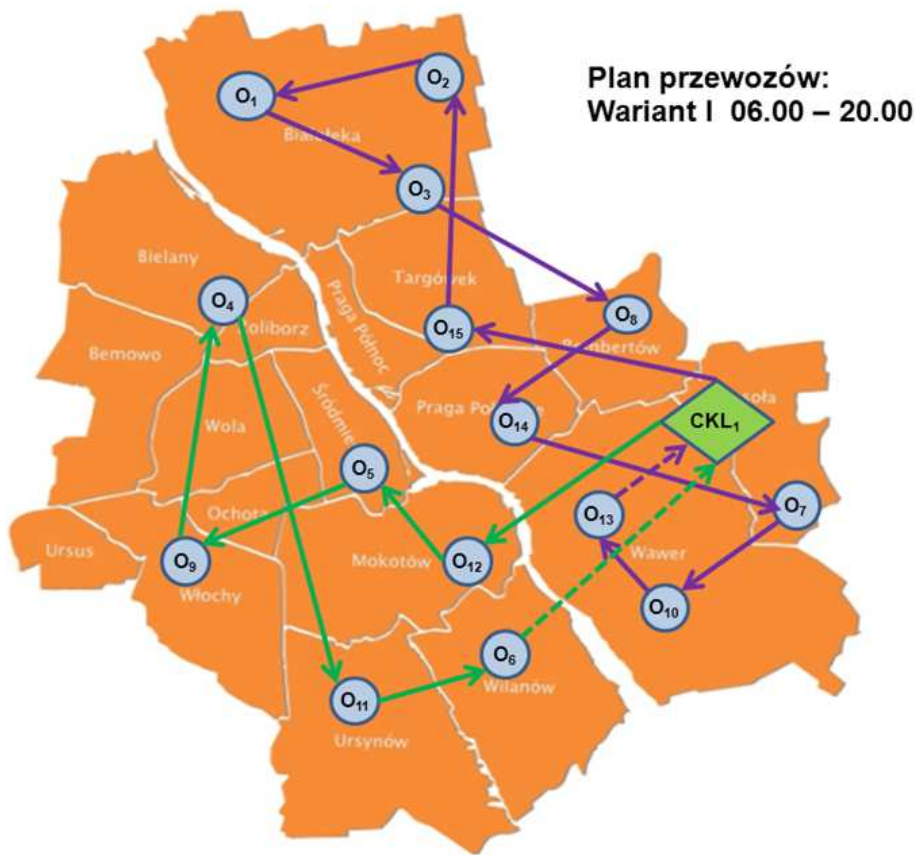
$$F = K_{CKL, o} \left( X(p_k, ckl_s, o_i^r, o_j^r), Y(p_k, td_h, ckl_s, o_i^r), \right. \\ \left. Z(o_i^r, ckl_s), da(o_i^r), db(o_i^r), \right. \\ \left. T(p_k, o_i^r), T(p_k, ckl_s) \right) \rightarrow \text{MIN}$$

## 4. PRZYKŁAD WYZNACZANIA PLANÓW PRZEWOZÓW Z WYKORZYSTANIEM PROJEKTOWANEGO PAKIETU KOMPUTEROWEGO DLA METODY VRPC

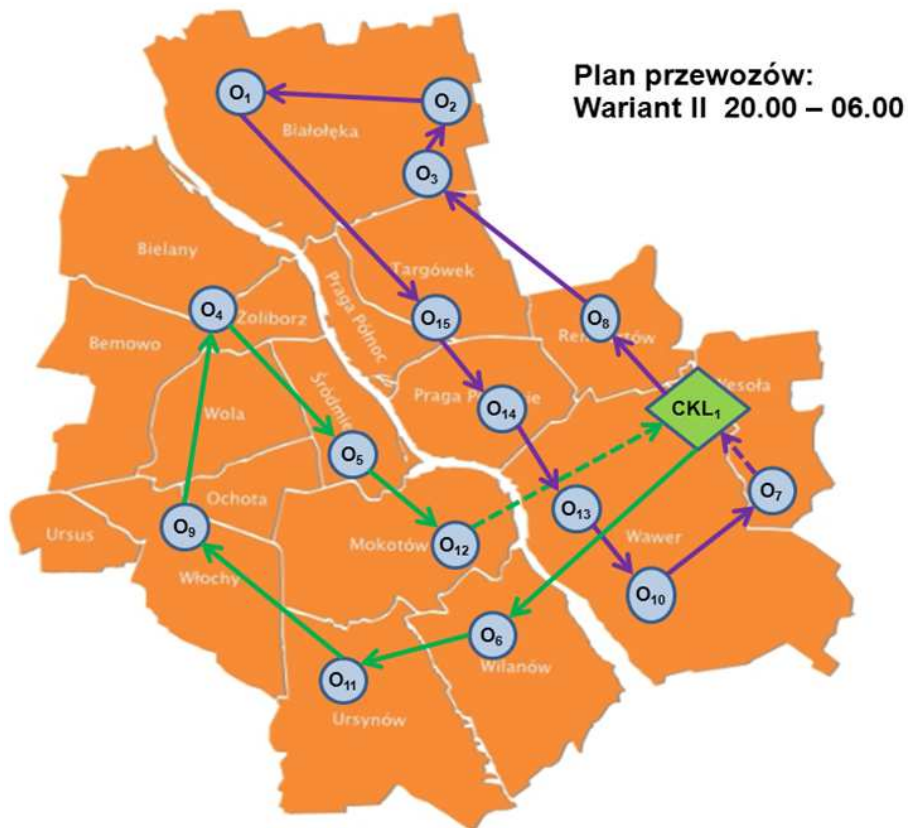
Analizom z zakresu wyznaczania planów przewozów w obszarach miejskich poddany został przykład realizacji dostaw artykułów spożywczych w obrębie aglomeracji warszawskiej. Określeni odbiorcy zgłaszający swoje zapotrzebowanie na przewóz byli zlokalizowani na terenie całej Warszawy. Dane nt. zamówień pochodziły z firmy dystrybuującej artykuły spożywcze. Wstępne plany przewozów wyznaczane były przy pomocy pakietu „Optymalizacja tras odwozu z oknami czasowymi”. Na podstawie uzyskanych wyników oraz analizy metodologii wyznaczania planów przewozów ww. pakietem opracowano wstępne założenia dla projektowanego pakietu dla metody VRPC. Wyniki pierwszych prac sprawdzających działanie projektowanej metody przedstawiono poniżej. W celu dokonania wstępnych obliczeń sprawdzających działanie pakietu VRPC niezbędne było zdefiniowanie następujących wielkości:

- liczba odbiorców ładunku,
- popyt na ładunek u każdego odbiorcy ładunku,
- ilość oraz ładowność środków transportowych,
- odległości pomiędzy wszystkimi odbiorcami oraz pomiędzy odbiorcami a centrum konsolidacji ładunków,
- średnie prędkości transportowe w poszczególnych okresach pracy centrum konsolidacji ładunków.

W związku z powyższym rozpatrywane były dwa rejony obsługi w aglomeracji warszawskiej, do których przypisanych było 15 odbiorców. Wzoruując się na rzeczywistej organizacji pracy pojazdów firmy dystrybuującej artykuły spożywcze, obszar Warszawy podzielono na dwa rejony. Podaż ładunku w centrum konsolidacji ładunków wynosiła 23 tony na dobę. W zakresie transportu ładunku do odbiorców każde CKL dysponowało 3 środkami transportu. Analizie poddane były dwa warianty. Wariant nr 1 zakładał obsługę transportową aglomeracji warszawskiej w ciągu dnia. Wariant 2 zakładał obsługę w okresie nocnym.



Rys. 5. Schematyczny układ tras otrzymany na podstawie w wariantie I  
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6. Schematyczny układ tras otrzymany w wariantie II  
Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie układów tras jakie pokonują pojazdy w obu wariantach obliczono długości tych tras. Zestawienie wyników obu wariantów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników dla poszczególnych wariantów

| Lp.                    | Rejon | Wariant I (obsługa w dzień) | Wariant II (obsługa w nocy) |
|------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1                      | 2     | 3                           | 4                           |
| 1                      | 1     | 15                          | 8                           |
| 2                      | 1     | 2                           | 3                           |
| 3                      | 1     | 1                           | 2                           |
| 4                      | 1     | 3                           | 1                           |
| 5                      | 1     | 6                           | 15                          |
| 6                      | 1     | 14                          | 14                          |
| 7                      | 1     | 7                           | 13                          |
| 8                      | 1     | 10                          | 10                          |
| 9                      | 1     | 13                          | 7                           |
| 10                     | 2     | 10                          | 6                           |
| 11                     | 2     | 12                          | 11                          |
| 12                     | 2     | 14                          | 9                           |
| 13                     | 2     | 15                          | 4                           |
| 14                     | 2     | 11                          | 5                           |
| 15                     | 2     | 13                          | 12                          |
| Łączny dobowy przebieg |       | 248 km – p <sub>1</sub>     | 192 km – p <sub>2</sub>     |

Źródło: opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że oba warianty umożliwiły wykonanie planowanej pracy przewozowej, jednakże ze względu na mniejsze utrudniania ruchu krótszy łączny dystans został pokonany przez pojazdy w wariantcie nr II. Projektowany pakiet komputerowy do wyznaczania planów przewozów *VRPC* będzie składał się docelowo z trzech zasadniczych modułów. Moduł pierwszy będzie obejmował wprowadzanie niezbędnych danych koniecznych do wyznaczania w sposób dynamiczny planów przewozów. Moduł drugi będzie dotyczył rejonizacji obsługiwanych klientów oraz wyznaczania planów przewozów z uwzględnieniem wszelkich ograniczeń zdefiniowanych w pierwszym module. Moduł trzeci będzie prezentacją wyników.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Całczyński A.: „Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku”, OWPW, Warszawa 2001.
- [2] Piasecki S.: „Optymalizacja systemów przewozowych”, Wydawnictwa Komunikacyjne i Łączności, Warszawa 1973.
- [3] Skowronek Cz., Saryusz –Wolski Z.: „Logistyka w przedsiębiorstwie”, PWE, Warszawa 2003.
- [4] Steenbrink P.A.: „Optymalizacja sieci transportowych”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.
- [5] Toth, P., Vigo, D.: „The Vehicle Routing Problem”, 1987.
- [6] Clarke, G., Wright, J.: „Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operational Research 12, 568 – 581, 1964.
- [7] Szoltysek, J.: „Logistyczne aspekty zarządzania przepływami osób i ładunków w miastach”. Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2009.

- [8] Crainic, T.G., Ricciardi, N., Storchi, G.: „Models for evaluating and planning city logistics systems”, CIRRELT, 2009.
- [9] Browne, M., Allen, S., Andersen, S. Woodburn, A.: „Urban Freight Consolidation Centres. Recent advances in city logistics”, pages 253-265. Elsevier, Amsterdam, 2006.
- [10] Morris, A.G., Kornhauser, A.K., Kay, M.J.: „Getting the goods delivered in dense urban areas. A Snapshot of the Last Link of the Supply Chain”. Transportation Research Records, 1653, 34-41, 1999.
- [11] Jacyna, M.: „Modelowanie i ocena systemów transportowych w aspekcie dostosowania infrastruktury do zadań”, OWPW

### **SOME ASPECTS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM FOR CUSTOMERS IN CITIES WITH TIME RESOURCES RESTRICTIONS**

**Abstract:**

In the paper the problem of vehicle routing problem in cities has been shown. The logistic system contains a few levels e.g. central consolidation points and customers. Due to a high level of complexity of this problem only some aspect from recent work and outcomes are presented by authors. Authors try to link all VRP methods with theory of city logistic and have received the methodology of setting up routings for vehicles in the city with all dynamic modifications available for dispatchers. Article has two parts. In the first theoretical approach has been presented. In the second real problem has been resolved. This paper is a part of doctoral considerations, at the end of them will be create computer tool for resolving VRPC problem.

Key words: city logistics, transport planning, transportation costs