

Tomasz Ambroziak  
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Roland Jachimowski  
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

## **ASPEKT PRZYDZIAŁU ODBIORCÓW W PROBLEMIE INTEGRACJI HIERARCHICZNEGO SYSTEMU DYSTRYBUCJI**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wybrane aspekty projektowania hierarchicznych systemów dystrybucji. W tym celu zdefiniowano strukturę sieci hierarchicznego systemu dystrybucji oraz określono charakterystyki elementów tej struktury. Ponadto sformułowano zadanie optymalizacyjne traktujące o przydziale odbiorców do baz magazynowych, przez które są obsługiwani. Zadanie optymalizacyjne zostało sformułowane przy kryterium minimalnych kosztów pracy przewozowej oraz ograniczeniach adekwatnych do rozważanej sytuacji decyzyjnej.

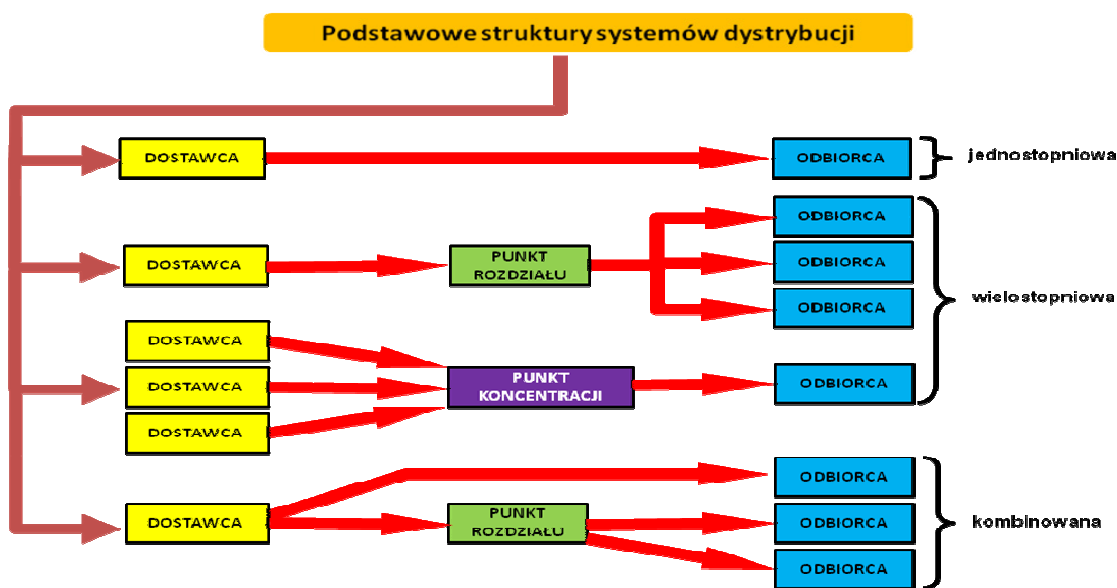
**Słowa kluczowe:** hierarchiczny system dystrybucji, integracja elementów hierarchicznych systemów dystrybucji, przydział odbiorców.

### **1. WPROWADZENIE**

W dobie szybko rozwijającej się gospodarki rynkowej zwłaszcza przedsiębiorstwa produkcyjne oraz dystrybucyjne coraz częściej zwracają uwagę na organizację ich systemów dystrybucji. Konkurencyjny w porównaniu z innymi przedsiębiorstwami poziom obsługi klienta bardzo często może decydować o powodzeniu przedsiębiorstwa w rywalizacji rynkowej. Jednym ze sposobów, jakim mogą się posłużyć przedsiębiorstwa w celu zwiększenia poziomu obsługi klientów jest analiza oraz ulepszenie całego łańcucha dostaw. Generalnie problem optymalizacji łańcuchów dostaw polega na wyznaczeniu najlepszego sposobu przemieszczania towarów od dostawców do odbiorców poprzez wybór struktury systemu dystrybucji w taki sposób, aby zaspokoić zapotrzebowania odbiorców oraz zminimalizować koszt dystrybucji wyrażany przeważnie jako koszt transportu oraz magazynowania. Zależności między procesami przemieszczania i magazynowania można przedstawić graficznie za pomocą sieci zależności, w której węzły są ze sobą połączone

liniami sprzężeń. W węzłach obiekty są czasowo gromadzone lub przekazywane na inną drogę, prowadzącą przez sieć zależności. Różne połączenia węzłów determinują różne możliwości poruszania się po sieci dystrybucji. Wybór odpowiedniego systemu dystrybucji zależy od umiejscowienia zarówno popytu, jak i podaży towarów, a czynniki wpływające na strukturę systemu dystrybucji determinują istnienie struktury jednostopniowej, wielostopniowej oraz kombinowanej [1].

W strukturze jednostopniowej zaspokajanie potrzeb rozmieszczonych przestrzenie i czasowo polega na bezpośrednim przepływie ładunków od dostawców do odbiorców i nie zachodzą w niej żadne dodatkowe procesy magazynowania. Struktura wielostopniowa polega na sprzężeniu dostawców oraz odbiorców przestrzenie jak i czasowo poprzez pośrednie fazy przepływu ładunków. Zatem w tego typu strukturach przepływ ładunków jest przerywany co najmniej w jednym punkcie. Z reguły w tym punkcie ma miejsce magazynowanie lub sortowanie ładunków, a następnie wysyłanie do odbiorców. Kombinowana struktura systemu dystrybucji jest niejako połączeniem struktury jednostopniowej ze strukturą wielostopniową. W przypadku tej struktury możliwy jest zarówno bezpośredni jak i pośredni przepływ ładunków. Z taką też strukturą mamy do czynienia najczęściej w rzeczywistych systemach dystrybucji wieloszczeblowej. Podstawowe struktury systemów dystrybucji przedstawiono na rys 1.



Rys.1. Podstawowe struktury systemów dystrybucji  
*Źródło: opracowanie własne na podstawie 1*

Opisując system dystrybucji należy ponadto zwrócić uwagę na specyfikę struktury systemu dystrybucji. Mają na nią wpływ następujące elementy:

- rodzaj pośredników – czyli typy baz magazynowych

- długość kanału dystrybucji – czyli liczba pośrednich szczebli dystrybucji występująca w danym systemie dystrybucji,
- szerokość kanału dystrybucji – czyli liczba pośredników występująca na danym szczeblu systemu dystrybucji.

## **2. PROBLEMY INTEGRACJI ELEMENTÓW HIERARCHICZNEGO SYSTEMU DYSTRYBUCJI**

W referacie podjęto problematykę integracji poszczególnych elementów systemu dystrybucji. Jest to część problemu poruszanego w literaturze i określanego mianem „problemu lokalizacji, przydziału i trasowania” (ang. location-allocation-routing problem). Punktem wyjściowym do podjęcia tematyki integracji elementów systemów dystrybucji była publikacja [2], w której to Autor dokonał klasyfikacji problemów integracji elementów systemu dystrybucji nawiązując do szczebli systemu dystrybucji oraz do klasyfikacji dróg łączących poszczególne szczeble systemu. Drogi te zostały podzielone na 2 różne typy:

- drogi łączące pary węzłów należących do dwóch różnych szczebli dystrybucji, oraz
- drogi łączące pewien wybrany węzeł jednego szczebla dystrybucji z pewną liczbą węzłów innego szczebla dystrybucji.

Pierwszy przypadek dotyczy dróg łączących np. bazę z konkretnym odbiorcą, lub też dróg łączących np. magazyn centralny z magazynem regionalnym. Z kolei drugi przypadek dotyczy dróg łączących np. bazę z pewną liczbą odbiorców (jest to typowy przykład dróg pojawiających się w problemach trasowania pojazdów). Przypadek ten jest też najczęściej poruszany w literaturze problemem integracji elementów szczebli dystrybucji.

Aby scharakteryzować integrację hierarchicznego systemu dystrybucji niezbędnym jest zdefiniowanie jego elementów. Węzły sieci dystrybucji zostały podzielone na: węzły odpowiadające dostawcom, węzeł - magazyn centralny, węzły odpowiadające magazynom dystrybucyjnym pierwszego poziomu, węzły odpowiadające magazynom dystrybucyjnym drugiego poziomu oraz węzły odpowiadające odbiorcom. Łuki odwzorowywały połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami (węzłami). Założono, że dostawcy towarów wysyłają je do magazynu centralnego. Magazyn centralny ma możliwość wysyłania towarów do magazynów dystrybucyjnych pierwszego poziomu oraz do odbiorców. Z kolei magazyny dystrybucyjne pierwszego poziomu zaopatrują magazyny dystrybucyjne drugiego poziomu oraz odbiorców. Rola magazynów dystrybucyjnych drugiego poziomu sprowadza się do zaopatrywania odbiorców towarów.

Przedstawiona powyżej charakterystyka systemu dystrybucji wiernie oddaje jego hierarchiczność. Dość jasno zaznaczone zostały zależności pomiędzy poszczególnymi elementami. W systemie hierarchicznym można dokonać podziału jego elementów na podzbiory tak, aby elementy podzbioru niższego szczebla były podrzędne względem elementów podzbioru wyższego szczebla. Oczywistym jest zatem, że element podrzędny w danym szczeblu może być elementem nadrzędnym dla elementów szczebla niższego.

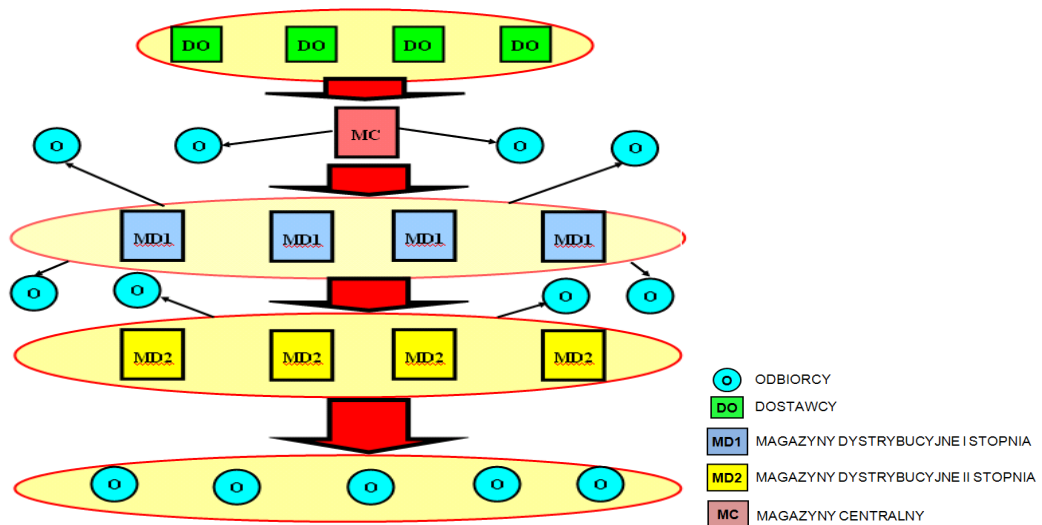
Ponadto elementy szczebla najwyższego (centralnego) nie mają nad sobą w danym systemie elementów nadrzędnych, a elementy szczebla najniższego (zerowego) nie mają podporządkowanych elementów podrzędnych [3]. Poglądową strukturę zdefiniowanego systemu dystrybucji przedstawiono na rys 2.

Dalsza charakterystyka hierarchicznego systemu dystrybucji zakłada, że znane są:

- lokalizacja oraz zdolności produkcyjne dostawców,
- lokalizacja oraz pojemność magazynu centralnego oraz magazynów dystrybucyjnych zarówno pierwszego jak i drugiego poziomu,
- lokalizacja oraz zapotrzebowanie odbiorców,
- liczba oraz ładowność pojazdów.

Mając tak scharakteryzowaną sieć dystrybucji problem integracji hierarchicznego systemu dystrybucji polega na przydziale odbiorców towarów do poszczególnych baz magazynowych do zbioru których należą magazyny dystrybucyjne oraz magazyn centralny. W rozpatrywanym systemie dystrybucji nie ma problemu przydziału dostawców do baz magazynowych, gdyż założono, że wszyscy dostawcy dostarczają towar do jednego magazynu centralnego. Kryterium przydziału odbiorców do poszczególnych baz magazynowych była praca przewozowa jaką należało wykonać w celu obsłużenia wszystkich odbiorców towarów przy zadanym koszcie jednostkowym przewiezienia jednostki towaru na jednostkę odległości.

Dodatkowym aspektem będącym przedmiotem poruszanego problemu optymalizacji hierarchicznego systemu dystrybucji jest wyznaczenie optymalnych planów dostaw wśród poprzedzielanych wcześniej odbiorców z uwzględnieniem okien czasowych występujących u każdego z nich. Próba wyznaczenia optymalnych tras dostaw z oknami czasowymi odbiorców z całą pewnością może wpłynąć na przydział odbiorców do baz magazynowych. Może to wynikać chociażby z dużego rozrzutu okien czasowych odbiorców teoretycznie przydzielonych już do konkretnej bazy magazynowej. Racjonalizacja obsługi danego zbioru odbiorców przy kryterium kosztów oraz terminowości dostaw niejednokrotnie może zdecydować o przydziale niektórych wstępnie przydzielonych już odbiorców do innej bazy magazynowej. Jednakże problematyka optymalizacji planów dostaw z oknami czasowymi pozostanie przedmiotem dalszych rozważań dotyczących optymalizacji hierarchicznych systemów dystrybucji.



Rys.2. Poglądowa struktura hierarchicznego systemu dystrybucji analizowanego w referacie  
*Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]*

Zaproponowane w niniejszym artykule podejście do optymalizacji hierarchicznego systemu dystrybucji różni się od podejść do tego problemu prezentowanych w wybranych pozycjach z literatury zagranicznej [2], [5], [6]. Elementem nowości w prezentowanym podejściu są przede wszystkim:

- Kryterium przydziału odbiorców do baz magazynowych jakim jest praca przewozowa oraz jednostkowe koszty transportu.
- Struktura hierarchicznego systemu dystrybucji.
- Na pierwszym szczeblu dystrybucji występują dostawcy oraz magazyn centralny zamiast zakładu produkcyjnego i magazynu centralnego. Na tym szczeblu wyznaczane są optymalne plany zwózki od dostawców do magazynu centralnego.
- W planach dalszych rozważań jest optymalizacja tras przewozu z oknami czasowymi pomiędzy poszczególnymi bazami magazynowymi a odbiorcami towarów.

### 3. CHARAKTERYSTYKA HIERARCHICZNEGO SYSTEMU DYSTRYBUCJI

Aby scharakteryzować hierarchiczny system dystrybucji podejmowany w referacie niezbędnym było zdefiniowanie następujących zbiorów:

- dostawców  $DO = \{do_1, do_2, \dots, do_{DO}\}$
- odbiorców  $O = \{i_1, i_2, \dots, i_o, \dots, i_O\}$
- magazynów centralnych  $MC = \{mc\}$
- magazynów dystrybucyjnych 1 poziomu  $MD1 = \{m_1^1, m_2^1, \dots, m_{MD1}^1\}$ .

- magazynów dystrybucyjnych 2 poziomu  $MD2 = \{ m_1^2, m_2^2, \dots, m_{MD2}^2 \}$ .
- pojazdów  $P = \{ p_1, p_2, \dots, p_P \}$
- baz magazynowych  $M = MC \cup MD1 \cup MD2$

$$M = \{ m: m = mc, m_1^1, m_2^1, \dots, m_{MD1}^1, m_1^2, m_2^2, \dots, m_{MD2}^2 \}$$

- Wektor kosztów jednostkowych transportu jednostki towaru na jednostkę odległości

$$K = [k_{io}^m \in R^+; i_o \in O; m \in M]$$

Przyjmujemy, że struktura hierarchicznego systemu dystrybucji będzie odwzorowana grafem  $G$ , tj.:

$$G = \langle W, L \rangle$$

przy czym:

$W$  - jest zbiorem numerów (nazw) dostawców, baz magazynowych oraz odbiorców towarów,

$$W = DO \cup O \cup MC \cup MD$$

Ponadto zdefiniowano zbiory:

- Zbiór węzłów pierwszego szczebla dystrybucji (zwózka od dostawców do magazynów centralnych).

$$W^1 = DO \cup MC$$

- Zbiór węzłów drugiego szczebla dystrybucji (rozwózka towarów z magazynów centralnych do magazynów pośrednich oraz odbiorców pierwszego stopnia).

$$W^2 = MC \cup MD1 \cup O$$

- Zbiór węzłów trzeciego szczebla dystrybucji (rozwózka towarów z magazynów pośrednich do odbiorców pierwszego i drugiego stopnia).

$$W^3 = MD1 \cup MD2 \cup O$$

$L$  - jest zbiorem połączeń między wybranymi elementami systemu dystrybucji

$$L = \{ (i_o, j): (i, j) \in W \times W, i_o \neq j \}$$

Określono również następujące charakterystyki elementów rozpatrywanego systemu dystrybucji takie jak:

- $Q_{i_o}$  - zapotrzebowanie  $i_o$ -tego odbiorcy;
- $d_{i_o}^m$  - odległość pomiędzy  $i_o$ -tym odbiorcą a  $m$ -tą bazą magazynową;
- $k_{i_o}^m$  - koszt jednostkowy transportu jednostki towaru na jednostkę odległości.

## 4. SFORMUŁOWANIE ZADANIA OPTYMALIZACYJNEGO PRZYDZIAŁU ODBIORCÓW DO BAZ MAGAZYNOWYCH

Dla danych:

$$DO, MC, M, O, P, Q_{i_0}, d_{i_0}^m, k_{i_0}^m,$$

Zmienne decyzyjne w zadaniu optymalizacyjnym:

$$x_{i_0}^m = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i_0 \text{ – ty odbiorca obsługiwany jest przez } m \text{ - tą bazę magazynową} \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Funkcja kryterium:

$$\sum_{i_0 \in O} \sum_{m \in M} x_{i_0}^m \cdot d_{i_0}^m \cdot Q_{i_0} \cdot k_{i_0} \longrightarrow \min$$

Funkcja kryterium minimalizuje całkowitą wielkość pracy przewozowej jaką należy wykonać w celu zaspokojenia potrzeb odbiorców przy założeniu jednostkowych kosztów transportu jednostki towaru na jednostkę odległości.

Ograniczenia:

$$\sum_{m \in M} x_{i_0}^m = 1$$

Powyższe ograniczenie determinuje przypisanie  $i_0$ -tego odbiorcy do tylko jednej  $m$ -tej bazy magazynowej. Eliminuje ono tym samym możliwość obsługi jednego odbiorcy przez kilka baz magazynowych.

## 5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY PRZYDZIAŁU ODBIORCÓW DO BAZ MAGAZYNOWYCH

W przykładzie obliczeniowym dokonano przydziału siedemnastu odbiorców do pięciu baz magazynowych w odniesieniu do rozpatrywanego w artykule hierarchicznego systemu dystrybucji. Obliczeń dokonano z wykorzystaniem pakietu komputerowego WINQSB.

Dane do przykładu obliczeniowego zawierały następujące informacje:

- liczba odbiorców,
- liczba baz magazynowych,
- odległości pomiędzy bazami magazynowymi i odbiorcami,

- wielkość zapotrzebowania poszczególnych odbiorców,
- ilość towaru w bazach magazynowych (założono, że wielkość ta jest bardzo duża w celu przydziału odbiorców na podstawie wykonywanej pracy przewozowej).

W tabelicy 1 zestawiono wskaźniki scharakteryzowane jako iloczyn pracy przewozowej i jednostkowych kosztów transportu. Na tej podstawie dokonano przydziału odbiorców do baz magazynowych przez które będą obsługiwani przy kryterium minimalizacji pracy przewozowej i wynikających z niej kosztów transportu.

Tablica 1.

**Dane do zadania przydziału odbiorców do baz magazynowych**

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15	O16	O17
M1	13	16	17	18	9	21	21	7	10	17	10	15	9	13	5	6	28
M2	15	14	4	11	16	14	15	18	19	9	19	16	14	17	30	28	34
M3	16	12	12	15	18	15	5	16	18	17	19	3	4	17	28	26	15
M4	3	5	12	13	15	9	10	13	6	24	7	12	10	6	17	15	23
M5	11	6	10	4	13	15	6	12	16	19	23	14	13	7	11	10	9

Źródło: opracowanie własne

W tabelicy 2 zestawiono wyniki zadania przydziału odbiorców do baz magazynowych.

Tablica 2.

**Wyniki przydziału odbiorców do magazynów**

Nr bazy magazynowej	M1			M2			M3			M4				M5			
Nr odbiorcy przydzielonego do bazy magazynowej	O5	O8	O15	O16	O3	O10	O7	O12	O13	O1	O2	O6	O9	O11	O14	O4	O17

Źródło: opracowanie własne

## 6. WNIOSKI

Prawidłowa integracja poszczególnych elementów systemu dystrybucji jest ważnym czynnikiem realizacji procesów logistycznych. Zaprezentowany przykład obliczeniowy wyjaśnia jak wielkość pracy przewozowej oraz kosztów jednostkowych transportu wpływa na rozdział odbiorców pomiędzy bazy magazynowe danego systemu dystrybucji. Sformułowane zadanie optymalizacyjne stanowi zaledwie wstęp do problematyki integracji elementów systemu dystrybucji. W dalszych badaniach przewiduje się opracowanie metody optymalizacji hierarchicznego systemu dystrybucji z uwzględnieniem okien czasowych u odbiorców.



Wymiernym efektem prowadzonych badań będzie narzędzie komputerowe umożliwiające dokonanie w pierwszej fazie przydziału odbiorców do baz magazynowych a następnie wyznaczenie optymalnych tras obsługi odbiorców przy kryterium terminowości dostaw.

### **Bibliografia**

1. Pohl H.: Systemy logistyczne, Poznań 1998.
2. Laporte G.: Location-routing problems, Vehicle routing: Methods and Studies, Amsterdam 1988.
3. Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
4. Jacyna M., Jachimowski R., Pryciński P.: Wspomaganie komputerowe wyznaczania optymalnych tras w wieloszczeblowym systemie dystrybucji, Zeszyty naukowe AGH, Kraków 2009.
5. Ambrosino D., Scutella M.: Distribution Network design, European Journal of Operational Research 165 (2005).
6. Dondo R., Cerda J.: A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows, European Journal of Operational Research 176 (2007).

### **ASPECT OF RECIPIENTS ALLOCATION IN PROBLEM OF HIERARCHICAL DISTRIBUTION NETWORK INTEGRATION**

**Abstract:** The article presents selected aspects of hierarchical distribution network design. For this purpose the structure of hierarchical distribution network and characteristics of its elements were defined. Moreover the optimization task treating about the allocation of recipients of goods to the warehouses was formulated. The optimization task was formulated with the criteria of minimal transportation labour and limitations adequate to considered decision situation.

**Keywords:** hierarchical distribution system, integration of hierarchical distribution network elements, recipients allocation.