

Marianna JACYNA*
Jolanta ŻAK**

KSZTAŁTOWANIE STRUKTURY SYSTEMU DYSTRYBUCJI CZĘŚCI SAMOCHODOWYCH Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU LINGO

W artykule zaproponowano formalizację zapisu charakterystyk sieci transportowej oraz charakterystyk baz magazynowych. Przedstawiono podejście do kształtowania struktury systemu dystrybucji w danym obszarze polegające na wyznaczaniu niezbędnej liczby baz magazynowych oraz ich typów dla realizacji określonych zadań transportowych. W tym celu sformułowano adekwatne do rozważanej sytuacji zadanie optymalizacyjne, a następnie rozwiązano z wykorzystaniem pakietu LINGO 9.0.

Słowa kluczowe: modelowanie, dystrybucja części samochodowych, zadanie optymalizacyjne, transport.

1. OPIS PROBLEMU

W zagadnieniach związanych z dystrybucją istotnym problemem jest odpowiednie kształtowanie sieci transportowej w zakresie lokalizacji obiektów magazynowych niezbędnych do obsługi danego obszaru.

Dla potrzeb formalnego opisu zagadnienia kształtowania systemu dystrybucyjnego przyjmujemy, że na pewnym obszarze wyróżnione są miejscowości, w których znajdują się klienci. Ponumerowane liczbami naturalnymi tworzą zbiór $K = \{1, 2, \dots, k, \dots, K\}$ numerów miejscowości, przy czym K jest liczbą wyróżnionych miejscowości.

Na potrzeby badań zakładamy, że klienci obsługiwani są przez lokalne bazy dystrybucyjne, miejscowości, w których są usytuowane, zanumerujemy indeksem l . Zbiór $L = \{1, 2, \dots, l, \dots, L\}$.

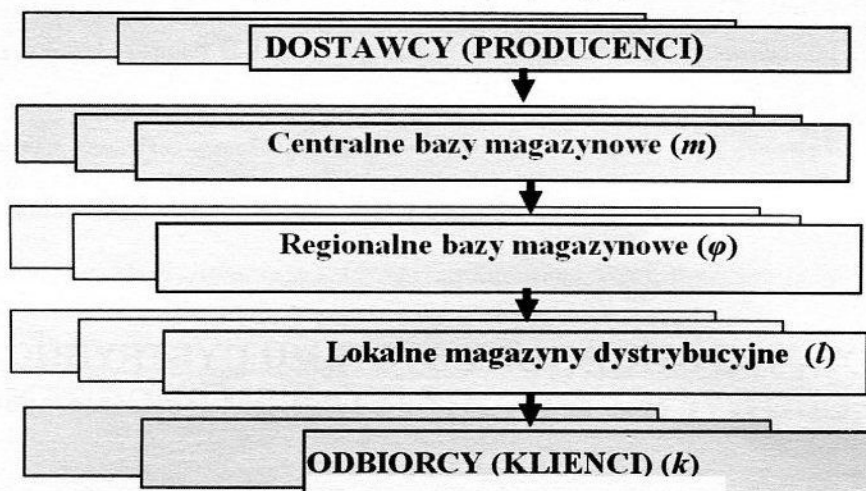
Indeksem φ zanumerujemy miejscowości, w których usytuowane są regionalne bazy dystrybucyjne. Zbiór $\Phi = \{1, 2, \dots, \varphi, \dots, \Phi\}$

Indeksem m zanumerujemy miejscowości, w których usytuowane są centralne bazy dystrybucyjne. Zbiór $M = \{1, 2, \dots, m, \dots, M\}$

* Marianna Jacyna, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

** Jolanta Żak, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

Rys.1 Struktura sieci dystrybucyjnej.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Jacyna M., Distribution Warehouses and Realization of Logistic Processes in supply chains, The Archives of Transport, Warszawa 2008

Strukturę przestrzenną sieci transportowej określa istnienie połączeń transportowych między wyróżnionymi miejscowościami. Zakładamy, że między parami miejscowości: klientem a miejscem lokalizacji bazy lokalnej, tj. między węzłem transportowym (miejscowością) o numerze k , $k \in K$ oraz węzłem o numerze l , $l \in L$, $k \neq l$, istnieje bezpośrednie połączenie transportowe (k, l) . Podobnie zakładamy, że istnieją połączenia transportowe (l, φ) , (φ, m) przy czym zbiory K , L , Φ , M są parami rozłączne.

Przyjmujemy, że:

- $U_{k,l}$ jest zbiorem bezpośrednich połączeń transportowych między k -tym klientem a l -tą lokalną bazą dystrybucyjną, tj.:

$$U_{k,l} \subset K \times L = \{(k, l): k \in K, l \in L\}$$
- $U_{l,\varphi}$ jest zbiorem bezpośrednich połączeń transportowych, między l -tą lokalną bazą dystrybucyjną a φ -tą regionalną bazą dystrybucyjną, tj.:

$$U_{l,\varphi} \subset L \times \Phi = \{(l, \varphi): l \in L, \varphi \in \Phi\}$$
- $U_{\varphi,m}$ jest zbiorem bezpośrednich połączeń transportowych, między φ -tą regionalną bazą dystrybucyjną a m -tą centralną bazą dystrybucyjną, tj.:

$$U_{\varphi,m} \subset \Phi \times M = \{(\varphi, m): \varphi \in \Phi, m \in M\}$$

Zatem struktura sieci transportowej systemu dystrybucji części samochodowych opisana jest grafem G , $G=(I, U)$, dla którego:

$I = K \cup L \cup \Phi \cup M$ – zbiór miejscowości, w których usytuowani są klienci, lokalne bazy dystrybucyjne, regionalne bazy dystrybucyjne oraz centralne bazy dystrybucyjne części samochodowych

$U = U_{k,l} \cup U_{l,\varphi} \cup U_{\varphi,m}$ – zbiór bezpośrednich połączeń transportowych między klientami oraz w różnionymi bazami.

2. ODWZOROWANIE KOSZTÓW TRANSPORTU I MAGAZYNOWANIA ORAZ CHARAKTERYSTYK BAZ DYSTRYBUCYJNYCH

Założymy, że na iloczynie kartezjańskim $K \times L$ zadane jest odwzorowanie c_1 przyporządkowujące elementom tego iloczynu liczby rzeczywiste dodatnie, tj.:

$$c_1: K \times L \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $c_1(k, l)$ mają interpretację kosztu transportu jednostki z ładunkiem z miejscowości o numerze l do miejscowości o numerze k , w której należy wykonać usługę przewozową. Zakładamy, że dysponujemy wielkościami $c_1(k, l)$ dla każdego połączenia (k, l) .

Założymy również, że na iloczynie kartezjańskim $L \times \Phi$ zadane jest odwzorowanie c_2 przyporządkowujące elementom tego iloczynu liczby rzeczywiste dodatnie, tj.:

$$c_2: L \times \Phi \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $c_2(l, \varphi)$ mają interpretację kosztu transportu jednostki z ładunkiem z miejscowości o numerze φ do miejscowości o numerze l , w której należy wykonać usługę przewozową. Zakładamy, że dysponujemy wielkościami $c_2(l, \varphi)$ dla każdego połączenia (l, φ) .

Ponadto zakładamy, że na iloczynie kartezjańskim $\Phi \times M$ zadane jest odwzorowanie c_3 przyporządkowujące elementom tego iloczynu liczby rzeczywiste dodatnie, tj.:

$$c_3: \Phi \times M \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $c_3(\varphi, m)$ mają interpretację kosztu transportu jednostki z ładunkiem z miejscowości o numerze m do miejscowości o numerze φ , w której należy wykonać usługę przewozową. Zakładamy, że dysponujemy wielkościami $c_3(\varphi, m)$ dla każdego połączenia (φ, m) .

Jednocześnie założymy, że na zbiorze K zadane jest odwzorowanie $n(k)$ przyporządkowujące elementom tego zbioru liczby rzeczywiste dodatnie, tj.:

$$n(k): K \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $n(k)$ mają interpretację wielkości zapotrzebowania u k -tego klienta i będzie miało postać wektora. $N(k) = [n(1), n(2), \dots, n(k), \dots, n(K)]$.

Założymy także, że na zbiorze L zadane jest odwzorowanie $q1(l)$ przyporządkowujące elementom tego zbioru liczby rzeczywiste dodatnie, tj.:

$$q1(k): L \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $q1(l)$ mają interpretację wielkości maksymalnych zdolności przerobowych l -tej bazy lokalnej i będzie miało postać wektora:

$$Q1(l) = [q1(1), q1(2), \dots, q1(l), \dots, q1(L)].$$

Założymy również, że na zbiorze Φ zadane jest odwzorowanie $q2(\varphi)$

$$q2(\varphi): \Phi \rightarrow \mathbb{R}^+,$$

przy czym wielkości $q2(\varphi)$ mają interpretację wielkości maksymalnych zdolności przerobowych φ -tej bazy regionalnej i będzie miało postać wektora:

$$Q2(\varphi) = [q2(1), q2(2), \dots, q2(\varphi), \dots, q2(\Phi)].$$

Założymy ponadto, że na zbiorze M zadane jest odwzorowanie $q_3(m)$

$$q_3(m): M \rightarrow \mathcal{R}^+,$$

przy czym wielkości $q_3(m)$ mają interpretację wielkości maksymalnych zdolności przerobowych m -tej bazy centralnej i będzie miało postać wektora:

$$Q_3(m) = [q_3(1), q_3(2), \dots, q_3(m), \dots, q_3(M)].$$

Na potrzeby badań ustalono również, że każda miejscowość:

- $l, l \in L$, charakteryzuje się wielkością $k(l)$ przy czym $k(l)$ jest interpretowana jako koszt związany z działalnością l -tego lokalnego centrum dystrybucji niezależną od wielkości przechodzonego przez centrum ładunku.
- $\varphi, \varphi \in F$, charakteryzuje się wielkością $k(\varphi)$, przy czym $k(\varphi)$ jest interpretowana jako koszt związany z działalnością φ -tego regionalnego centrum dystrybucji niezależną od wielkości przechodzonego przez centrum ładunku.
- $m, m \in M$, charakteryzuje się wielkością $k(m)$, przy czym $k(m)$ jest interpretowana jako koszt związany z działalnością m -tego centralnego centrum dystrybucji niezależną od wielkości przechodzonego przez centrum ładunku.

Działalność każdej z baz generuje również koszt związany z wielkością ładunku przechodzącego przez daną bazę:

- dla lokalnej bazy magazynowej jest ona równa c^l razy liczba jłp przechodzących przez bazę na rok;
- dla regionalnej bazy magazynowej jest ona równa c^φ razy liczba jłp przechodzących przez bazę na rok;
- dla centralnej bazy magazynowej jest ona równa c^m razy liczba jłp przechodzących przez bazę na rok.

Wielkości c^l , c^φ , c^m zależne są od struktury ładunku, technologii przepływu ładunku oraz pojemności baz.

SFORMUŁOWANIE PROBLEMU OPTYMALNEJ ORGANIZACJI USŁUG TRANSPORTOWYCH W OBSZARZE CENTRUM DYSTRYBUCYJNEGO

Należy zorganizować dostawę zamiennych części samochodowych do punktów sprzedaży detalicznej tak, aby koszty obsługi były minimalne

Zmienne decyzyjne:

$$x_1(k, l) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } k \text{ - klient obsługiwany jest przez } l \text{ - tą lokalną bazę} \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

$$x_2(l, \varphi) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } l \text{ - ta lokalna baza jest obsługiwana jest przez } \varphi \text{ - tą regionalną bazę} \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

$$x_3(\varphi, m) = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } \varphi - \text{ta regionalna baza obsługiwana jest przez } m - \text{tą bazę centralną} \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

Ograniczenia:

1. Każdy klient jest przyporządkowany tylko do jednej bazy lokalnej

$$\forall k \in K \quad \sum_{l \in L} x_1(k, l) = 1$$

2. Każda baza lokalna jest przyporządkowana tylko do jednej bazy regionalnej

$$\forall l \in L \quad \sum_{\varphi \in \Phi} x_2(l, \varphi) = 1$$

3. Każda baza regionalna jest przyporządkowana tylko do jednej bazy centralnej

$$\forall \varphi \in \Phi \quad \sum_{m \in M} x_3(\varphi, m) = 1$$

4. Każda baza lokalna może obsłużyć tylko taką liczbę nabywców, których potrzeby w zakresie obsługi ładunków nie przekraczają jego zdolności przerobowych

$$\forall l \in L \quad \sum_{k \in K} x_1(k, l) \cdot n(k) = q_1(l)$$

5. Każda baza lokalna może obsłużyć tylko taką liczbę nabywców, których potrzeby w zakresie obsługi ładunków nie przekraczają jego zdolności przerobowych

$$\forall \varphi \in \Phi \quad \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot n(k) = q_2(\varphi)$$

6. Każda baza lokalna może obsłużyć tylko taką liczbę nabywców, których potrzeby w zakresie obsługi ładunków nie przekraczają jego zdolności przerobowych

$$\forall m \in M \quad \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{\varphi \in \Phi} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot x_3(\varphi, m) \cdot n(k) = q_3(m)$$

Funkcja kryterium:

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_1(k, l) \cdot n(k) \cdot k_1(k, l) + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{\varphi \in \Phi} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot n(k) \cdot k_2(l, \varphi) + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{\varphi \in \Phi} \sum_{m \in M} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot x_3(\varphi, m) \cdot n(k) \cdot k_3(\varphi, m) + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_1(k, l) \cdot n(k) \cdot c^l + \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{\varphi \in \Phi} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot n(k) \cdot c^\varphi + \sum_{l \in L} x_1(k, l) \cdot \kappa(l) + \sum_{\varphi \in \Phi} x_2(l, \varphi) \cdot \kappa(\varphi) \\ & \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{\varphi \in \Phi} \sum_{m \in M} x_1(k, l) \cdot x_2(l, \varphi) \cdot x_3(\varphi, m) \cdot n(k) \cdot c^m + \sum_{m \in M} x_3(\varphi, m) \cdot \kappa(m) \end{aligned} \right\} \rightarrow \min$$

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dla weryfikacji przedstawionego podejścia wykonano eksperymenty obliczeniowe, korzystając z pakietu LINGO 9.0 dla wybranego obszaru sieci transportowej. Przykład: Na danym obszarze

znajdują się 2 bazy centralne, 3 bazy regionalne, 5 baz lokalnych oraz 8 klientów. Wyznacz taką organizację przyporządkowania klientów do baz lokalnych, baz lokalnych do baz regionalnych, a tych do baz centralnych, aby koszty były minimalne. Zakładamy, że przewożymy jeden rodzaj towaru. Pozostałe dane przedstawione są w postaci tabel i wektorów.

Tabela 1. Koszty przewozu jłp od klienta do bazy lokalnej oraz między bazami lokalną i regionalną w PLN

nr bazy lokalnej	numer klienta								nr bazy regionalnej		
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
1	10	10	15	20	20	20	10	8	20	20	20
2	12	20	20	25	25	20	8	10	10	20	20
3	17	20	20	10	15	10	10	15	5	10	20
4	30	30	20	50	5	15	20	15	20	10	15
5	20	20	5	10	8	25	25	10	30	15	10

$$N(k)=[30, 25, 20, 25, 40, 20, 30, 40];$$

$$Q1(l)=[60, 50, 60, 50, 40];$$

$$Q2(l)=[270, 300, 250].;$$

$$Q3(l)=[500, 600];$$

$$\kappa1(l)=[500, 550, 450, 480, 520];$$

$$\kappa2(\varphi)=[1100000, 900000, 1000000];$$

$$\kappa3(m)=[2100000, 2000000];$$

Koszty przewozu jłp z bazy centralnej do bazy regionalnej

$$c_3(1, 1)=20; c_3(1, 2)=12; c_3(2, 1)=20; c_3(2, 2)=22; c_3(3, 1)=18; c_3(3, 2)=20$$

Rozwiązanie LINGO 9.0

Local optimal solution found.

Objective value: 3625.000

Extended solver steps: 21

Total solver iterations: 30116

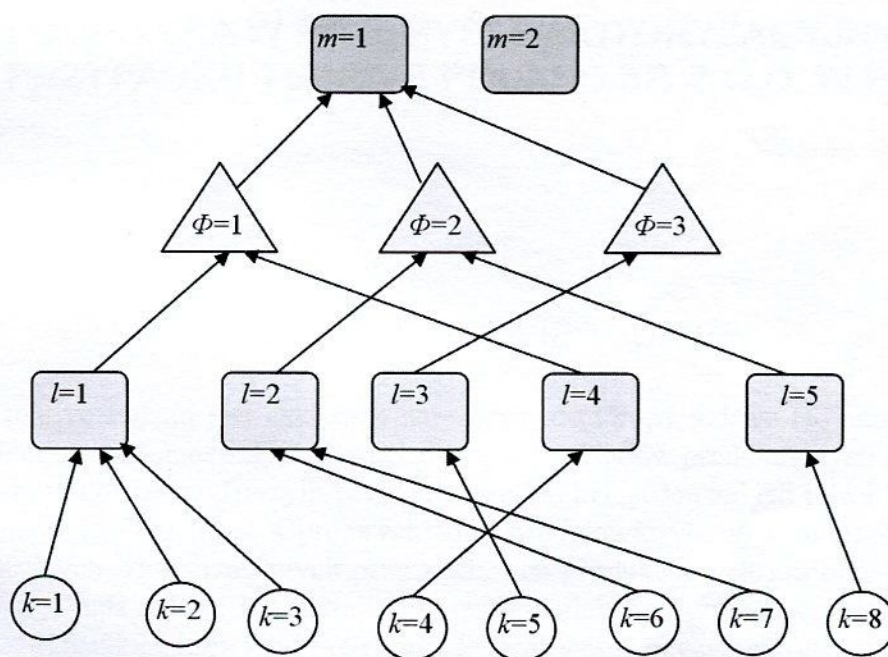
Variable Value

X1L1K1	1.000000	X2Φ1L1	1.000000
X1L1K2	1.000000	X2Φ2L2	1.000000
X1L1K3	1.000000	X2Φ3L3	1.000000
X1L4K4	1.000000	X2Φ1L4	1.000000
X1L3K5	1.000000	X2Φ2L5	1.000000
X1L2K6	1.000000	X3M1Φ1	1.000000
X1L2K7	1.000000	X3M1Φ2	1.000000
X1L5K8	1.000000	X3M1Φ3	1.000000

Funkcja kryterium dla tego rozwiązania wynosi 3625.000 PLN

Wartość 1 dla zmiennej decyzyjnej X_{1L1K1} oznacza, że klient o numerze 1 jest obsługiwany przez bazę lokalną o numerze 1. Podobnie wartość 1 dla zmiennej decyzyjnej $X_{2\Phi 2L2}$ oznacza, że baza lokalna o numerze 2 jest obsługiwana przez bazę regionalną o numerze 2. Analogicznie wartość 1 dla zmiennej decyzyjnej $X_{3M1\Phi 3}$ oznacza, że baza regionalna o numerze 3 jest obsługiwana przez bazę centralną o numerze 1. Ta zasada jest stosowana również w przypadku pozostałych zmiennych.

Rys.2. Graficzne przedstawienie rozwiązania.



Źródło: opracowanie własne.

LITERATURA

- [1] Jacyna M., *Distribucion Warehouses and Realization of Logistic Processes in suply chains*, The Archives of Transport, Warszawa 2008.
- [2] Jacyna M., *Zagadnienia kształtowania sieci transportowej w obszarze współdziałania transportu kolejowego i samochodowego*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport, z.35, Oficyna Wydawnicza PW, 1996, str. 25-47
- [3] Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*, OWPW, Warszawa 2003.
- [4] Dolugi A., Soldek J., Zaikin O., *Supply Chain Optimization*, Springer-Science + Bussines Media Boston USA, 2005r.
- [5] Pfohl H.-Ch., *Systemy logistyczne, Podstawy organizacji i zarządzania*, Biblioteka logistyka, Poznań 1998r.
- [6] Mattson S.-A., *Embracing Change, Management strategies in the e-economy area*, Varsta, Sweden 2000r.
- [7] Korzan B., *Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania*, WNT, Warszawa 1978
- [8] Żak J., *Modelowanie usług transportowych w obszarze działania centrum logistyczno-dystrybucyjnego*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport, z.64, Oficyna Wydawnicza PW, 2008, str. 177-184

FORMING SPARE PARTS DISTRIBUTION SYSTEM WITH LINGO APPLICATION**SUMMARY**

Article presents formal way of describing characteristics of transportation networks and distributional centres. An approach to forming structure of regional distribution systems basing on determining necessary number and types of distributional centres for given transportation tasks is presented. In order to solve the problem the optimization task adequate to considered situation was built and computed with usage of LINGO 9.0.

Key words: modeling, spare parts distribution, optimization task, transport.

Recenzent: dr hab. inż. Tomasz Nowakowski