

JACYNA-GOŁDA Ilona¹

Projektowanie sieci logistycznej w aspekcie efektywności obsługi logistycznej przedsiębiorstw

WSTĘP

Projektowanie sieci logistycznych przedsiębiorstw produkcyjnych jest złożonym problemem decyzyjnym. Wynika to z potrzeby uwzględnienia zarówno specyfiki funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych jak i ukształtowania funkcjonalno-przestrzennego obiektów magazynowych będących elementami projektowanej sieci. Odpowiednio zaprojektowana sieć logistyczna wpływa na zmniejszenie kosztów dostaw zaopatrzenia materiałowego do przedsiębiorstw lub dystrybucji wyrobów gotowych do odbiorców.

Determinantą zmniejszenia kosztów logistycznych to zarówno dobrze zlokalizowane obiekty magazynowe w strukturze sieci logistycznej jak i odpowiednie zarządzanie całym procesem przepływu ładunków w tej sieci i związanych z tym przepływem strumieni informacji. Właściwy dobór struktur podyktowany jest zarówno względami przestrzennymi, technicznymi, technologicznymi, organizacyjnymi jak i ekonomicznymi. Sieć logistyczna, na ogół, rozumiana jest jako układ powiązań między obiektami magazynowymi systemu logistycznego przedsiębiorstwa wraz z określeniem wielkości i rozmieszczenia tych obiektów. Natomiast zadaniem systemu logistycznego przedsiębiorstwa jest obsługa logistyczna procesów zapewniających realizację celu podstawowego, a więc produkcję odpowiednich wyrobów, produktów, usług, itp.

Zazwyczaj obsługa logistyczna przedsiębiorstwa ma na celu takie zintegrowanie fizycznego przepływu surowców i opakowań, z jednej strony od punktów nadania materiałów produkcyjnych do przedsiębiorstwa aby zabezpieczyć realizację procesu podstawowego, tj. produkcyjnego a z drugiej strony zapewnić dystrybucję wyrobów gotowych od przedsiębiorstwa do odbiorcy tak, aby spełnić jego oczekiwania na odpowiednim poziomie. Dotyczy to zarówno sfery zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji czy tzw. logistyki zwrotów.

Zarówno pojęcie sieci logistycznej jak i obsługi logistycznej czy też systemu logistycznego wiąże się z terminem logistyka, która postrzegana jest ogólnie jako zespół działań związanych z planowaniem, organizowaniem przemieszczania produktów z produkcji do odbiorcy i dotyczy takich procesów jak: dystrybucja, magazynowanie, konsolidacja, rozdział, utrzymanie urządzeń i obiektów infrastruktury, w tym również serwis. Zatem logistyka to dziedzina wiedzy o organizowaniu procesów przemieszczania oraz magazynowania surowców, materiałów i wyrobów gotowych w ujęciu systemowym, zmierzającym do optymalizacji łańcuchów zaopatrzeniowych (od pozyskania surowca do konsumenta), a także zajmująca się zagospodarowaniem produktów użytkowych. Konsekwencją funkcjonowania logistyki jest między innymi wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań w zakresie poprawy jakości funkcjonowania łańcucha dostaw². Wiąże się to także z poszukiwaniem sposobów zaspokojenia oczekiwań klientów, pozyskiwania nowych klientów, zapewniania długotrwałej współpracy z odbiorcami, ale także rozpoznawania potencjału konkurentów i ich aktualnych pozycji.

W ujęciu inżynierskim logistykę postrzega się przez pryzmat tzw. logistyki stosowanej i definiuje jako dziedzinę wiedzy i umiejętności niezbędnych do kształtowania i wymiarowania procesów przepływu ładunków i informacji w systemach logistycznych w celu zaspokojenia potrzeb w rozpatrywanym obszarze, przy minimalnych nakładach i kosztach.

¹Jacyna.Golda@gmail.com

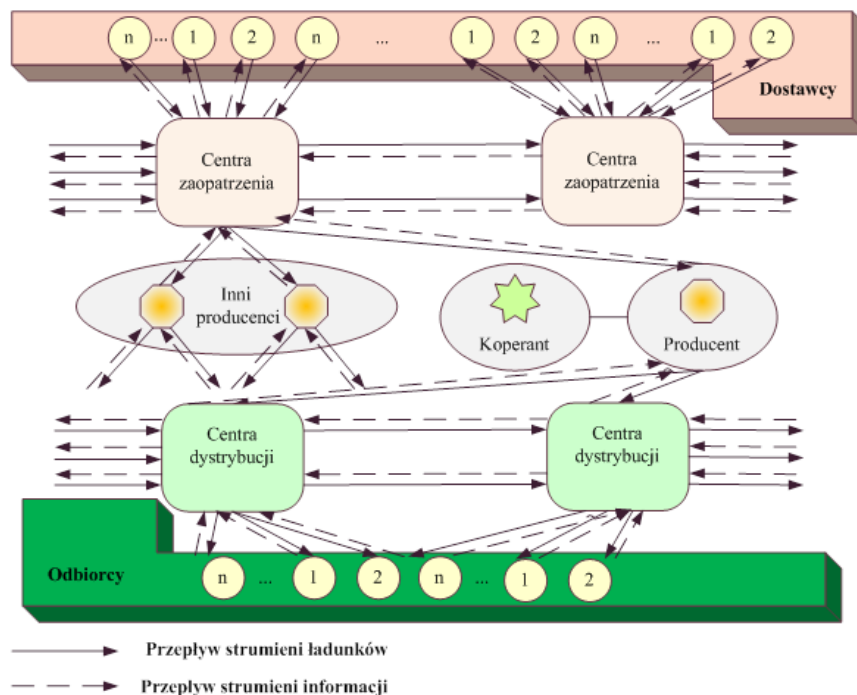
² Łańcuch dostaw to współdziałające w różnych obszarach funkcjonalnych firmy wydobywcze, produkcyjne, handlowe, usługowe oraz ich klienci, między którymi przepływają strumienie produktów, informacji i środków finansowych.

Chociaż istnieją rozbieżności co do szczegółów w definicjach pojęcia logistyki, to jednak we wszystkich definicjach uwypukla się fizyczny przepływ dóbr rzeczowych i związane z tym przepływem informacje oraz satysfakcję klientów wraz z minimalizacją kosztów przepływu. W celu spełnienia wymagań, co do asortymentu, ilości, miejsca i czasu, dąży się do zintegrowania fizycznego przepływu ładunków i związanych z nim informacji w ramach sprawnie funkcjonującego systemu logistycznego.

1 POJĘCIE SIECI LOGISTYCZNEJ W ASPEKTCIE OBSŁUGI PRZEDSIĘBIORSTW

Efektywność całego łańcucha jest rezultatem efektu łączenia ładunków w procesie przepływu, tj. poprzez łączenie: operacji zaopatrzenia, przesyłek towarowych, zapasów, różnego rodzaju funkcji oraz operacji dystrybucyjnych. Udział oraz wartość poszczególnych składników w kosztach logistycznych wynika z istniejącego systemu obsługi logistycznej przedsiębiorstwa. Determinuje to potrzebę właściwego doboru obiektów logistycznych, w tym obiektów magazynowych, ze względu na złożoność zadań i funkcji jakie powinny realizować. Zatem sieć logistyczna powinna zapewnić maksymalne korzyści z punktu widzenia obsługiwanych przedsiębiorstw oraz minimalne koszty z punktu widzenia dostawców usług.

Sieć logistyczna obejmuje wszystkie działania związane z przepływem materiałów (rysunek 1), począwszy od pozyskiwania podstawowych surowców, a skończywszy na sprzedaży końcowemu nabywcy produktu finalnego i utylizacji tego, co z tego produktu zostaje po zużyciu. Na każdym etapie przepływu mogą pojawiać się zwroty, czyli materiały odrzucone przez następną firmę w łańcuchu lub odpady, które wymagają utylizacji. Jednym z istotnych elementów przy projektowaniu sieci logistycznej jest wielkość przepływów materiałowych i dostosowanie obiektów magazynowych do tych przepływów, co wiąże się z opracowaniem projektu funkcjonalno-przestrzennego lokalizowanych obiektów magazynowych.



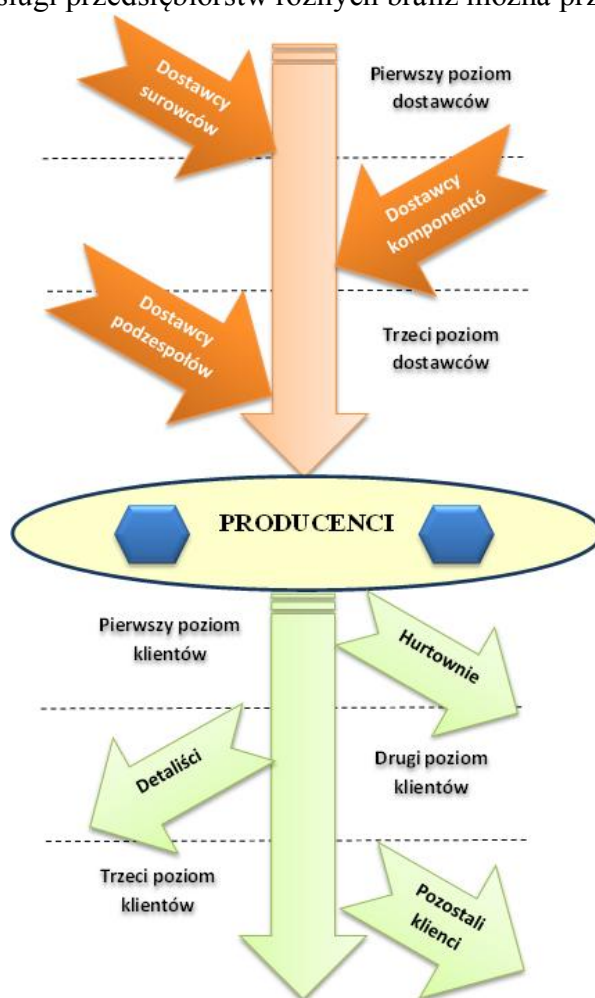
Rys. 1. Przykład sieci logistycznej dla obsługi przedsiębiorstwa produkcyjnego [7]

W artykule sieć logistyczna definiowana jest jako zbiór wzajemnie powiązanych obiektów magazynowych współuczestniczących w procesie dostarczania zapotrzebowania materiałowego do przedsiębiorstw od punktów nadania materiałów produkcyjnych (sfera zaopatrzenia przedsiębiorstwa) oraz wysyłki produktów – wyrobów gotowych z przedsiębiorstw do odbiorców finalnych – klientów (sfera dystrybucji przedsiębiorstwa).

Należy podkreślić, że większość przedsiębiorstw otrzymuje zapotrzebowanie materiałowe od różnych punktów nadania materiałów produkcyjnych i sprzedaje wyroby gotowe różnym klientom (rysunek 1). Surowce zostają dostarczone do producenta wykorzystując wszystkie poziomy dostawców sieci logistycznej, podobnie gotowe wyroby dostarczane są do klientów zlokalizowanych na różnych poziomach. Stąd sieć logistyczną przedsiębiorstw można rozpatrywać oddzielnie w sferze zaopatrzenia oraz w sferze dystrybucji. Ważnym aspektem, z punktu widzenia rozważań prowadzonych w artykule jest właściwe dopasowanie sieci logistycznej do specyfiki potrzeb przedsiębiorstw.

2 WYBRANE METODY PROJEKTOWANIA SIECI LOGISTYCZNEJ

Według Winiwarter i Cempel [14] strukturę sieci logistycznej definiuje się jako zbiór elementów (podmiotów): dostawców surowców, producentów, hurtowników i odbiorców powiązanych odpowiednimi relacjami związanymi z przepływem materiałów. W takim rozumieniu strukturę sieci logistycznej na potrzeby obsługi przedsiębiorstw różnych branż można przedstawić jak na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura sieci logistycznej skoncentrowanej wokół producenta

W zależności od tego ile występuje pośredników na drodze przemieszczania, struktura sieci logistycznej może być jednopoziomowa lub wielopoziomowa nazywana jest również jako struktura hierarchiczna. Cechą charakterystyczną sieci wielopoziomowej jest konieczność przejścia materiałów od dostawców przez kolejne poziomy zanim zostaną dostarczone do odbiorców (przedsiębiorstw produkcyjnych). W wielopoziomowej sieci występują pośrednicy, którymi mogą być różnego rodzaju bazy magazynowe, terminale przeładunkowe czy też centra logistyczne.

W pracach autorów takich jak Abt [1], Barnes i in. [2] czy Pfohl [13] można znaleźć szczegółowy opis struktur różnych systemów logistycznych, gdzie wyróżnia się zarówno rodzaje powiązań między

elementami struktury jak i opis struktur organizacyjnych obejmujących metody organizacji i zarządzanie łańcuchem.

Jak już wcześniej wspomniano istotnymi elementami punktowymi sieci logistycznej w ujęciu przedstawionym powyżej są obiekty magazynowe. Projektowanie tak rozumianej sieci logistycznej wymaga podejmowania decyzji w zakresie:

- rozmieszczenia obiektów magazynowych – wraz z ustaleniem takich wielkości jak: wielkość terenu, koszt zakupu gruntu, koszt siły roboczej, dostępność infrastruktury transportowej itp.
- rozwiązań przestrzennych obiektów magazynowych – dotyczy to m.in. wymiarów, powierzchni (kosztu utrzymania 1m² powierzchni obiektów), kubatury obiektu (kosztu utrzymania 1m³ przestrzeni obiektów), itp.,
- rozwiązań technologiczno-ekonomicznych w zależności od zapotrzebowań materiałowych, struktury zamówień, oczekiwań klientów, jednostkowego kosztu przejścia ustalonej jednostki ładunkowej przez obiekt itp.

W literaturze jest wiele metod projektowania struktury sieci logistycznej zarówno jedno, jak i wielopoziomowej. Wśród metod można wyróżnić metody opisowe, analityczne, analityczno-opisowe, analogowe oraz numeryczne. W metodach opisowych brak jest formalizacji zapisu poszczególnych kroków projektowych, możemy jedynie znaleźć niesformalizowany przepis postępowania w postaci wytycznych. Inaczej jest w przypadku metod analitycznych, gdzie kroki projektowe są zapisane w postaci zależności sformalizowanych. Metody analityczno-opisowe stanowią swego rodzaju połączenie metod analitycznych i opisowych.

W przypadku metod analogowych do wykonania obliczeń wykorzystuje się formuły matematyczne oraz specjalne urządzenia, które wykorzystują występujące analogie w danym procesie (zjawisku). Natomiast metody numeryczne umożliwiają uzyskanie rozwiązania problemu poprzez wykorzystanie specjalistycznego programu komputerowego. Należy przy tym pamiętać, że w tym przypadku niezbędny jest aparat matematyczny do formalizacji zapisu problemu, który następnie przetwarzany jest na „język komputera”.

Inny podział metod projektowania struktury sieci logistycznej wynika z uwzględnienia liczby kryteriów oceny jakości projektu. W przypadku, gdy pod uwagę bierzemy tylko jedno kryterium mówimy o metodach jednokryterialnych, natomiast gdy pod uwagę bierzemy kilka kryteriów wówczas mówimy o metodach wielokryterialnych. W literaturze przedmiotu [3], [5], [9], [11] opisywane metody zarówno jedno, jak i wielokryterialne dotyczą najczęściej wyboru miejsc lokalizacji punktów węzłowych w sieci.

Inna grupa metod projektowania struktury sieci logistycznej obejmuje metody optymalizacyjne ścisłe, symulacyjne i przybliżone (heurystyka). Metody optymalizacyjne opierają się na precyzyjnych procedurach matematycznych, które gwarantują znalezienie najlepszego rozwiązania danego problemu. Natomiast metody symulacyjne pozwalają na przeprowadzanie eksperymentów z opracowanym wcześniej modelem. W tym przypadku przy wcześniejszej znajomości rozwiązania najlepszego, możliwa jest ocena wrażliwości modelu na zmianę poszczególnych jego parametrów. Metody optymalizacji przybliżonej przystosowane są do operowania na bardzo ogólnie zdefiniowanych problemach, dlatego nie gwarantują znalezienia rozwiązania optymalnego.

Jednym z aspektów w zakresie ustalania struktury sieci logistycznej jest wybór lokalizacji obiektów magazynowych. Kryński i Badach [12] zaproponowali postać analityczną wieloetapowej jednokryterialnej metody optymalizacji liczby i wielkości magazynów oraz zakładów produkcyjnych. Zaproponowana przez nich funkcja kryterium dla dwuetapowego modelu rozmieszczenia i rozwoju produkcji, dla której suma nakładów inwestycyjnych na produkcję we wszystkich zakładach, kosztów dostaw surowców do zakładów oraz łącznego kosztu produkcji i transportu wyrobów do odbiorców, która osiąga wartość minimalną ma następującą postać:

$$f(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}) = \sum_{m \in M} s_m \cdot x_m + \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} k_{pm} \cdot y_{pm} + \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} (c_{mn} + g_m) \cdot z_{mn} \quad (2)$$

gdzie:

- s_m – nakłady inwestycyjne na jednostkę produkcji w m -tych zakładach;
- k_{pm} – jednostkowe koszty nabycia surowców w p -tych rejonach i ich dostawy do m -tych zakładów;
- c_{mm} – jednostkowe koszty dostawy produktu z m -tych zakładów do n -tych odbiorców;
- g_m – jednostkowe koszty produkcji w m -tych zakładach;
- x_m – wielkości produkcji zakładów budowanych w m -tych lokalizacjach;
- y_{pm} – wielkości dostaw surowców z p -tych rejonów ich pozyskania do m -tych zakładów;
- z_{mm} – wielkości dostaw produktu z m -tych zakładów do n -tych odbiorców;

Inne podejście przedstawiają Całczyński i Śleszyński [3], którzy zaproponowali współzależny wieloasortymentowy model lokalizacyjny dla układu: dostawcy - bazy logistyczne - odbiorcy. Funkcja kryterium dla tego modelu, dla której koszty dostaw wyrobów do magazynów i wysyłek osiągają wartość minimalną, ma następującą postać:

$$f(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}) = \sum_{r \in R} \left(\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} c_{im}^r \cdot y_{im}^r + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} k_{mj}^r \cdot z_{mj}^r \right) \quad (3)$$

gdzie:

- c_{im}^r – jednostkowe koszty dostaw wyrobów r -tej grupy towarowej od i -tych dostawców do m -tych magazynów;
- y_{im}^r – wielkości dostaw r -tej grupy towarowej od i -tych dostawców do m -tych magazynów;
- k_{mj}^r – jednostkowe koszty dostaw wyrobów r -tej grupy towarowej z m -tych magazynów do j -tych odbiorców;
- z_{mj}^r – wielkości dostaw r -tej grupy towarowej z m -tych magazynów do j -tych odbiorców;
- $R = \{1, 2, \dots, r, \dots, R\}$ – zbiór grup towarowych;

Całczyński [4] przedstawił także metodę lokalizacji magazynów i określania ich pojemności, a także określania wymaganej pojemności magazynów już istniejących, dla obsługi określonego rynku zbytu. W podejściu tym problem lokalizacyjny rozwiązywany jest dwuetapowo. Etap pierwszy stanowi wieloaspektową analizę prowadzącą do zdefiniowania potencjalnych miejsc lokalizacji nowych obiektów. Natomiast w etapie drugim, przy uwzględnieniu kosztów transportu, rozwiązywane jest zmodyfikowane zadanie transportowe, w którym nowe i istniejące magazyny traktowane są jako dostawcy, zaś rynek zbytu stanowią wyspecyfikowani w danym obszarze odbiorcy. Zastosowanie zadania transportowego do wyznaczania lokalizacji obiektów logistycznych jest także przedstawiane w podstawowych zagadnieniach badań operacyjnych.

3 ZAŁOŻENIA DO BUDOWY MODUŁU KSZTAŁTOWANIA SIECI LOGISTYCZNEJ NA POTRZEBY OBSŁUGI PRZEDSIĘBIORSTW

Charakterystyka wejścia materiałów do zakładu produkcyjnego wynika zarówno ze struktury zamówień klientów, specyfiki procesu wytwarzania, cech fizyko-chemicznych materiałów do produkcji, jak i z pojemności oraz wydajności magazynów surowców i opakowań.

Przy projektowaniu sieci logistycznej dla przedsiębiorstwa należy pamiętać, że:

- zakład produkcyjny jest obiektem punktowym systemu logistycznego, do którego dostarczane są materiały wybranych typów i odbierane są materiały innych rodzajów.
- Zapotrzebowanie zakładu produkcyjnego na materiały uznaje się za potrzebę nadrzędną determinującą organizację łańcuchów dostaw, zatem wolumen produkcyjny zakładu wymusza regularne dostawy materiałów w określonych partiach, przy czym są to wielkości całopojazdowe lub przybliżone do nich. Ponadto zakres produkcji zakładu wymusza zamawianie wielu różnych typów materiałów do produkcji, przy czym wielkości zamówień różnych materiałów wyraża się w tych samych jednostkach (np. tony).

- Specyfika procesu produkcji zakłada konieczność utrzymywania pewnych zapasów surowców i wyrobów gotowych. Co ważne wielkości zapasów wszystkich materiałów mogą być sumowane. Zapotrzebowanie produkcji na materiały oraz efektywność magazynu materiałów determinują strukturę zamówień na materiały.
- Planowanie długookresowe produkcji odbywa się w horyzoncie około kilku lat, co pozwala na konstruowanie planu dostaw materiałów (wynikających z zamówień klientów), natomiast planowanie krótkookresowe produkcji odbywa się w horyzoncie do jednego roku, co pozwala na weryfikację planów dostaw materiałów (na podstawie awizacji dostaw materiałów).
- Materiały mogą być dostarczane bezpośrednio od dostawców lub pośrednio z obiektów magazynowych, analogicznie sytuacja wygląda dla wyrobów gotowych. W przypadku dostaw bezpośrednich materiały dostarczane są od wielu różnych dostawców niezależnie, natomiast w przypadku dostaw pośrednich z wykorzystaniem obiektów magazynowych dostawy materiałów od wielu dostawców mogą być konsolidowane.
- Parametry dostaw są znane i ustalone dla każdego typu materiałów.
- Strategia punktów nadania materiałów może być scharakteryzowana przez zdanie: „dostarczać rzadko duże partie materiałów”. Natomiast strategia zakładu produkcyjnego może być scharakteryzowana przez zdanie: „zamawiać często małe partie materiałów”.

W celu sformułowania zadania logistycznego na wejściu do zakładu produkcyjnego niezbędna jest znajomość [7], [8], [9], [10]:

- a) rodzajów materiałów produkcyjnych. Produkcja w zakładzie oparta jest o określone rodzaje materiałów (surowce oraz opakowania). Ponumerowane rodzaje materiałów tworzą zbiór **H**;
- b) punktów nadania materiałów produkcyjnych; zakład produkcyjny obsługiwany jest przez wielu punktów nadania materiałów. Ponumerowani dostawcy, będący źródłami strumieni ładunków (punkty nadania) tworzą zbiór **A**;
- c) potencjalnych obiektów magazynowych. Zakład produkcyjny może być obsługiwany przez punktów nadania materiałów pośrednio z wykorzystaniem obiektów magazynowych. Ponumerowane potencjalne obiekty magazynowe, w których dokonywane są przekształcenia na strumieniach ładunków tworzą zbiór **M**;
- d) kosztów jednostkowych zakupu materiałów. Każdy dostawca materiałów może dostarczać jeden wybrany lub kilka różnych rodzajów materiałów produkcyjnych. Dany rodzaj materiału może być dostarczany przez kilku różnych punktów nadania materiałów produkcyjnych;
- e) wielkości jednorazowej dostawy materiałów. Zamówienia na materiały do produkcji składane u dostawcy mają charakter długookresowy i w większości przypadków dzielone są na dostawy o określonej wielkości realizowane w rytm cyklu produkcyjnego zakładu i cyklu produkcyjnego u danego dostawcy. W artykule przyjęto cykl tygodniowy. Wielkość jednorazowej dostawy jest zależna od maksymalnego zapasu danego materiału w magazynie przyprodukcyjnym, zapasu bezpieczeństwa danego materiału, zapotrzebowania na ten materiał i częstotliwości dostaw;
- f) częstotliwości dostawy materiałów. Materiały zamawiane są zgodnie z zapotrzebowaniem wynikającym z długoterminowego planu produkcji, konstruowanego na bazie zamówień klientów i przewidywanego popytu na materiały produkcyjne. Możliwe jest wyznaczenie przeciętnej częstotliwości dostaw danego typu materiału na bazie danych historycznych. Częstotliwość zamówień nie jest nigdy stała i wpływają na nią różnorodne czynniki związane z problemami technicznymi produkcji i punktów nadania materiałów produkcyjnych, wypadkami losowymi w transporcie, anulowaniem lub niespodziewanym przyjęciem zamówień itp. Projektując sieć logistyczną, ustalany jest okres, na który zadane są potrzeby przedsiębiorstw. Ponumerowany zbiór dni rozpatrywanego okresu tworzy zbiór **T**;
- g) maksymalnego poziomu zapasu. Dla każdego typu materiału określa się wielkość maksymalną zapasu utrzymywanego w magazynie przyprodukcyjnym, która nie powinna zostać przekroczona ze względów wydajnościowych pracy magazynu (pojemność), kosztów zamrożenia kapitału, ewentualnych terminów przydatności do użycia i możliwości zwrotu niewykorzystanych materiałów;

- h) zapasu bezpieczeństwa materiałów. Dla każdego typu materiału określa się wielkość zapasu bezpieczeństwa, tj. granicę, przekroczenie której powinno wyzwoić natychmiastowe zamówienie materiału;
- i) zużycia materiałów. Dla każdego typu materiału określa się wielkość dobowego zużycia materiału do celów produkcyjnych. Wielkość ta wynika z planu krótkookresowego produkcji, oraz pośrednio z planu długookresowego.
- j) Każdy z obiektów magazynowych charakteryzuje się pojemnością. Pojemność v -tego obiektu magazynowego ze względu na wszystkie przechowywane w nim rodzaje ładunków można zapisać następująco:

$$\forall v \in \mathbf{M} \quad \sum_{h \in \mathbf{H}} \theta_v^h = \theta_v \quad (1)$$

- k) Z wielkością popytu wiąże się minimalna pojemność obiektów magazynowych o numerach v' , jaką powinny posiadać w dniu o numerze t związana ze średnią wartością popytu powiększoną o podwojone odchylenie standardowe, co można zapisać w postaci ograniczenia³:

$$\forall t \in \mathbf{T} \quad \sum_{h \in \mathbf{H}} \sum_{v' \in \mathbf{M}} \theta_{v'}^h \geq \max_{t \in \mathbf{T}} \left\{ \overline{q2_{v'}^{h,t}} + 2\sigma \right\} \quad (2)$$

- l) Z przewozem ładunku związany jest koszt transportu zależny od długości trasy na jaką należy go przewieźć oraz od ilości przewożonego ładunku. Zakładamy zatem, że mamy wielkość $kd \in \mathbf{R}^+$, przy czym kd jest interpretowana jako jednostkowy koszt transportu jednostki ładunku na jednostkę odległości.

Poziomy maksymalnego zapasu oraz zapasu bezpieczeństwa materiałów produkcyjnych, a także wielkość zużycia materiałów w trakcie produkcji wpływają na wielkości popytu na ładunek h -tego rodzaju zgłoszonego przez przedsiębiorstwo produkcyjne w t -tym dniu.

4 MODEL MATEMATYCZNY KONFIGURACJI SIECI LOGISTYCZNEJ NA POTRZEBY OBSŁUGI LOGISTYCZNEJ PRZEDSIĘBIORSTW

Przy projektowaniu sieci logistycznej na potrzeby przedsiębiorstw poszukuje się takich wielkości przewozu między poszczególnymi obiektami struktury sieci aby całkowite koszty dostaw były minimalne. Zakładając, że dostawcy mogą dostarczać różne materiały produkcyjne, przy czym znane są [11]:

1. $q1_v^h$ - maksymalna wielkość podaży ładunku h -tego rodzaju od v -tego dostawcy,
2. dr - liczba dni roboczych dla ustalonego okresu analizy,
3. $q2_v^{h,t}$ - popyt na materiał produkcyjny rodzaju h generowany przez każde przedsiębiorstwo produkcyjne i jest on rozpatrywany w ustalonym okresie analizy,
4. kz_v^h - koszty jednostkowego zakupu materiałów produkcyjnych h -tego rodzaju od v -tego dostawcy,
5. C_v - koszty uruchomienia obiektów magazynowych,
6. kd - jednostkowy koszt transportu jednostki ładunku na jednostkę odległości,
7. odległości między dostawcami a obiektami magazynowymi $d1_{v,v'}$, między dostawcami a przedsiębiorstwami produkcyjnymi $d2_{v,v'}$, pomiędzy różnymi obiektami magazynowymi $d3_{v,v'}$, a także między obiektami magazynowymi a przedsiębiorstwami produkcyjnymi $d4_{v,v'}$,
8. θ_v^h - pojemności obiektów magazynowych określone w liczbie przyjętych jednostek ładunku,
9. N^h normatyw zapasu składowania h -tego rodzajów ładunku liczonego w dniach,
10. k_v - koszty działalności magazynów niezależne od wielkości przerobu,
11. $t2_v^h$ - czas potrzebny na czynności wyładunkowe i naładunkowe na jednostkę materiału produkcyjnego h -tego rodzaju w v -tym obiekcie magazynowym

³Dla realizacji zmiennej losowej o dowolnym rozkładzie normalnym około 95,5% obserwacji mieści się w przedziale $(m-2\sigma, m+2\sigma)$. Zatem możemy przyjąć, że wielkość $\max_{t \in \mathbf{T}} \left\{ \overline{q2_{v'}^{h,t}} + 2\sigma \right\}$ określi maksymalną wartość popytu z prawdopodobieństwem około 98%.

12. μ_v^h - jednostkowe koszty przejścia ładunku h -tego rodzaju przez v -ty obiekt magazynowy;
13. ζ_v^h - min. liczba możliwych do składowanych ładunków h -tego rodzaju, dla których warto uruchomić v -ty obiekt magazynowy,
14. ω_v^h - max zdolności przeładunkowe materiału produkcyjnego h -tego rodzaju w v -tym obiekcie magazynowym;
15. ks_v^h - koszty jednostkowego sprzedaży wyrobów h -tego rodzaju przedsiębiorstwom;
16. $T2_v^h$ - czas w jakim materiał h -tego rodzaju powinien zostać dostarczony do v -tego odbiorcy
17. ko_v^h - obniżona cena po jakiej dokonywana jest sprzedaż przedsiębiorstwom wyrobów gotowych h -tego rodzaju, w momencie gdy prognozowany popyt będzie niższy od wcześniej założonego;
18. $kz_{v,v}^h$ - jednostkowy zysk możliwy do osiągnięcia na materiale produkcyjnym rodzaju h zakupionym u dostawców i sprzedanego przedsiębiorstwom produkcyjnym po założonej cenie;
19. $ks_{v,v}^h$ - jednostkowa strata ponoszona na materiale produkcyjnym rodzaju h zakupionym u dostawców i sprzedanego przedsiębiorstwom produkcyjnym po obniżonej cenie.

Przy znajomości powyższych danych poszukuje się takich wielkości przewozu ładunków h -tego rodzaju w t -tym dniu między v – tym punktem nadania oraz v' - tym obiektem magazynowym:

$$\mathbf{X1} = [x1_{v,v'}^{ht} : x1_{v,v'}^{ht} \in \mathbf{R}^+ \cup \{0\}, h \in \mathbf{H}, t \in \mathbf{T}, v \in \mathbf{A}, v' \in \mathbf{M}] \quad (3)$$

oraz wielkości przewozu ładunków h -tego rodzaju w t -tym dniu pomiędzy v – tym punktem nadania oraz v' - tym przedsiębiorstwem produkcyjnym:

$$\mathbf{X2} = [x2_{v,v'}^{ht} : x2_{v,v'}^{ht} \in \mathbf{R}^+ \cup \{0\}, h \in \mathbf{H}, t \in \mathbf{T}, v \in \mathbf{A}, v' \in \mathbf{B}] \quad (4)$$

oraz wielkości przewozu ładunków h -tego rodzaju w t -tym dniu pomiędzy obiektem magazynowym v oraz obiektem magazynowym v' :

$$\mathbf{X3} = [x3_{v,v'}^{ht} : x3_{v,v'}^{ht} \in \mathbf{R}^+ \cup \{0\}, h \in \mathbf{H}, t \in \mathbf{T}, v \neq v', v' \in \mathbf{M}] \quad (5)$$

oraz wielkości przewozu ładunków h -tego rodzaju w t -tym dniu pomiędzy v – tym obiektem magazynowym oraz v' - tym przedsiębiorstwem produkcyjnym:

$$\mathbf{X4} = [x4_{v,v'}^{ht} : x4_{v,v'}^{ht} \in \mathbf{R}^+ \cup \{0\}, h \in \mathbf{H}, t \in \mathbf{T}, v \in \mathbf{M}, v' \in \mathbf{B}] \quad (6)$$

aby koszty realizacji dostaw zapisane funkcją (32) były minimalne:

$$\begin{aligned} \min_{(v,v') \in L} \left(\min_X (F(X1, X2, X3, X4)) \right) = \min_{(v,v') \in L} \left(\min_X \left(kd \cdot \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \left(\sum_{(v,v') \in L^{A,M}} x1_{v,v'}^{ht} \cdot d1_{v,v'} + \sum_{(v,v') \in L^{A,B}} x2_{v,v'}^{ht} \cdot d2_{v,v'} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \sum_{(v,v') \in L^{M,M}} x3_{v,v'}^{ht} \cdot d3_{v,v'} + \sum_{(v,v') \in L^{M,B}} x4_{v,v'}^{ht} \cdot d4_{v,v'} \right) + \sum_{v' \in M} (C_{v'} + k_{v'}) \cdot \operatorname{sgn} \left(\sum_{h \in H} \sum_{v \in A: \phi(v,v')=1} x1_{v,v'}^{ht} + \sum_{h \in H} \sum_{v \in M: \phi(v,v')=1} x3_{v,v'}^{ht} \right) + \right. \\ \left. + \sum_{v' \in M} \mu_{v'} \cdot \left(\sum_{h \in H} \sum_{v \in A: \phi(v,v')=1} x1_{v,v'}^{ht} + \sum_{h \in H} \sum_{v \in M: \phi(v,v')=1} x3_{v,v'}^{ht} \right) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Rozwiązania tak sformułowanego zadania poszukuje się przy uwzględnieniu wielu ograniczeń nałożonych zarówno na elementy struktury jak i organizację dostaw. Wśród ograniczeń należy wymienić ograniczenie na [10]:

- nieujemność wielkości przewożonych ładunków,
- zaspokojenie popytu na ładunki h -tego rodzaju w danym przedsiębiorstwie produkcyjnym na dany dzień zamówień,
- nieprzekroczenie możliwości podaży ładunków h -tego rodzaju w odpowiednim punkcie nadania,
- nieprzekroczenie maksymalnych zdolności przerobowych w danym obiekcie magazynowym,
- opłacalność uruchomienia danego obiektu magazynowego,
- na nieprzekroczenie wielkości maksymalnych pojemności w obiekcie magazynowym,

- zbilansowanie przyływów w poszczególnych obiektach magazynowych,
- czas dostawy realizacji dostaw materiałów. Od złożenia zamówienia na materiały produkcyjne u danego dostawcy do czasu wprowadzenia ich na magazyn przyprodukcyjny musi upłynąć określony czas wynikający z konieczności pozyskania materiału przez dostawcę (wyprodukowanie/wydanie z magazynu/pakowanie itd.) oraz czasu transportu. Czas ten może być różny w zależności od dostawcy i typu materiału, a także struktury sieci dostaw (dostawa bezpośrednia lub z wykorzystaniem pośrednich obiektów magazynowych),
- zapewnienie opłacalności realizacji zadań przewozowych,
- zapewnienie jednostkowego zysku na jednostce ładunku zakupionej u nadawców i sprzedanej przedsiębiorstwom produkcyjnym po założonej cenie,
- osiągnięcie jednostkowej straty na jednostce ładunku zakupionej u nadawców i sprzedanej przedsiębiorstwom produkcyjnym po obniżonej cenie.

Rozwiązanie tak zdefiniowanego zadania optymalizacyjnego pozwala na wyznaczenie struktury sieci logistycznej dla obsługi przedsiębiorstw produkcyjnych.

WNIOSKI

Charakterystyka wejścia materiałów do zakładu produkcyjnego wynika zarówno ze struktury zamówień klientów, specyfiki procesu wytwarzania, cech fizyko-chemicznych materiałów do produkcji, jak i z pojemności oraz wydajności magazynów surowców i opakowań. Dlatego też projektowanie sieci logistycznych dla obsługi przedsiębiorstw wiąże się między innymi z ustaleniem liczby i lokalizacji obiektów magazynowych. Liczba pośredników (obiektów magazynowych) określa liczbę szczebli dystrybucji. Im więcej pośredników występuje w całym łańcuchu dostaw, tym bardziej złożona jest struktura.

Efektywność sieci logistycznej jest zbiorczą charakterystyką jakości funkcjonowania poszczególnych jej elementów, która może być wyrażona za pomocą charakterystyk szczegółowych.

Właściwie zaprojektowana sieć logistyczna ma duże znaczenie nie tylko dla przedsiębiorstw ale również dla operatorów logistycznych i przedsiębiorstw transportowych, gdyż w znacznym stopniu wpływa to na poziom usług świadczonych przez te firmy.

Sieć logistyczna będzie efektywna, gdy zapewni realizację ustalonych zadań na wymaganym poziomie jakości przy racjonalnym wykorzystaniu wyposażenia całej sieci. Dlatego też projektując sieć logistyczną dla danego przedsiębiorstwa należy mieć na uwadze interesy wszystkich uczestników realizacji procesów w tej sieci.

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie ogólnego podejścia do projektowania regularnych sieci logistycznych dla potrzeb obsługi przedsiębiorstwa produkcyjnego. Sieci logistyczne stanowią ogniwa pośrednie w dystrybucji towarów. Sieci logistyczne stanowią ogniwa pośrednie w dystrybucji towarów. Problemem jest wyznaczenie optymalnej liczby obiektów logistycznych oraz przyporządkowanie do nich klientów, w taki sposób, aby koszty obsługi obszaru były minimalne, a przy tym spełnione były z jednej strony wymagania klientów, zaś z drugiej strony możliwości techniczno-ekonomiczne dostawców usług logistycznych. Przedmiotem artykułu jest przedstawienie ogólnego podejścia do optymalizacji struktury sieci logistycznych.

Logistics network design in the aspect of the efficiency of logistics companies

Abstract

The paper presents a general approach to the design of regular logistics networks for service production company. Logistics network accounts intermediate links in the distribution of goods. The problem is to determine the optimal number of logistics facilities and assigning clients to them, in such a way that the costs of servicing the area are minimal, and at the same time were met with one hand, customer requirements, on the other hand, the opportunities for technical and economic logistics service providers. This paper presents a general approach to optimize the logistics network structure

BIBLIOGRAFIA

1. Abt S.: *Centra dystrybucji a infrastruktura*. Logistyka a jakość, nr 2 (8), 2001.
2. Barnes, E., Dai, J., Deng, S., Down, D., Goh, M., Lau, H.C., Sharafali, M.: *On the Strategy of Shupply Hubs for Cost Reduction and Responsiveness*. White Paper, The Logistics Institute – Asia Pacific, National University of Singapore, Singapore 2003.
3. Calczyński A., Śleszyński Z.: *Współzależne modele lokalizacyjno-rozwozkowe*. Przegląd Statystyczny, t. 22, z. 1, 1992.
4. Calczyński A.: *Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku*. PWE, Warszawa 1992.
5. Chan F.T.S., Chung S.H.: *Multicriterion genetic optimization for due date assigned distribution network problems*. Elsevier, Decision Support Systems 39 (2005) 661– 675, 2004.
6. Coyle J. J., Bardi E. J., Langley C. J.: *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007.
7. Jacyna-Golda I.: *Evaluation of operational reliability of the supply chain in terms of the control and management of logistics processes*. [w:] Nowakowski T., Młyńczyk M., Jodejko-Pietruczuk A, Werbińska-Wojciechowska S.: *Safety and Reliability: Methodology and Applications*. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, Wrocław.
8. Jacyna-Golda I.: *Badanie niezawodności i efektywności funkcjonowania łańcuchów dostaw*. Logistyka 4/2014.
9. Jacyna-Golda I., Santarek K., Wasiak M.: *Location of warehouse facilities in the logistics network*, [w:] Feliks J. (red.), Conference Proceedings Carpathian Logistics Congress, 2013.
10. Jacyna I.: *Metoda projektowania sieci logistycznych dla przedsiębiorstw produkcyjnych*, Rozprawa doktorska, OWPW, Warszawa 2011.
11. Jacyna M., Wasiak M.: *Multicriteria Evaluation of Logistic Centres Configuration in a Hierarchical Distribution System*. 11TH International Scientific Conference - SCINCE, EDUCATION AND SOCIETY, University of Žilina, Žilina September 2003.
12. Kryński H., Badach A.: *Zastosowanie matematyki do podejmowania decyzji ekonomicznych, zagadnienia wybrane*. PWN, Warszawa 1976.
13. Pfohl H.: *Logistyka w systemie przedsiębiorstw zintegrowanych. Łańcuch, cykl zamknięty, sieć*. Materiały Międzynarodowej konferencji Logistics 98 ILiM i PTL Katowice 1998.
14. Winiwarter P., Cempel C., 1992: *Life Symptoms - the Behaviour of Open Systems with Limited Energy Dissipation Capacity and Evolution*. System Research, Vol3, No 4, pp 9-34.