

**Sławomir Juszczak**

Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstw  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Maria Tymińska**

Zakład Zarządzania UJK w Kielcach  
Filia w Piotrkowie Trybunalskim

## **Optymalizacja organizacji transportu w systemie dystrybucji przedsiębiorstwa**

### **Wstęp**

Na poziom efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa produkcyjnego wpływają m.in. rosnące koszty transakcyjne, w tym związane z realizacją zadań w obszarze dystrybucji. Dystrybucja bowiem warunkuje sprawną obsługę klienta. O jej poziomie decydują najczęściej takie czynniki, jak: jakość i niezawodność dostaw, elastyczność systemu dystrybucji, a także szybkość i terminowość realizacji zamówień.

Dominującą rolę w fazie dystrybucji odgrywają procesy transportowo-spedycyjne. Co istotne, wzrastające ich znaczenie generuje potrzebę wprowadzania innowacyjności w zakresie organizacji przemieszczania ładunków przy zastosowaniu odpowiednio dobranych środków transportu i sposobu przewozu [Krawczyk 2001, s. 84]. Poszukiwane są więc metody i narzędzia umożliwiające precyzyjną odpowiedź na istotne pytania dotyczące procesów transportowych i spedycyjnych: Czy należy coś zmieniać? Jeżeli tak, to jakie będą tego efekty finansowe?

Wyzwaniem i jednocześnie potrzebą nowoczesnego przedsiębiorstwa jest połączenie korzyści gospodarczych, płynących z utrzymania wysokich standardów obsługi klienta oraz minimalizacji kosztów transportu – będących jednocześnie funkcją obsługi klienta. Przy tym zagadnienie ograniczania kosztów nabiera strategicznego wymiaru [Christopher 2000, s. 48].

Problematyka efektywności finansowej w obszarze obsługi klienta, a w szczególności w dystrybucji oraz usług transportowych, jest podejmowana w literaturze przedmiotu zarówno przez autorów zagranicznych, jak i polskich. Najczęściej dominują aspekty zarządzania procesami transportu i dystrybucji [Coyle, Bardi, Langley, Skowronek, Sarjusz-Wolski]. W znacznie mniejszym stopniu podejmuje się problematykę optymalnego sterowania przebiegiem tych procesów [Krawczyk, Nowicka-Skowron].

## Cel i metody badań

W artykule podjęto rozważania na temat organizacji obsługi środków transportowych w dystrybucji przedsiębiorstwa dziewiarskiego w aspekcie optymalizacyjnym. Artykuł ma na celu wykorzystanie rozwiązań usprawniających przepływ strumieni towarów od dostawcy do odbiorcy. Podejmowane działania wiążą się przede wszystkim ze skróceniem czasu oczekiwania jednostek transportowych na obsługę, jak i przebiegu samej obsługi. Stanowić to może gwarancję większej skuteczności w obsłudze klientów, z jednoczesnym wzrostem efektywności ekonomicznej podsystemu dystrybucji i tym samym całego przedsiębiorstwa.

Sposób organizacji obsługi klienta nie powinien być dziełem przypadku, lecz rezultatem precyzyjnie zaplanowanych działań. Zaproponowany w artykule proces optymalizacji pozwala eliminować straty wynikające z oczekiwania na obsługę środków transportowych czy też utrzymywania zbędnego transportu. Przedstawiona koncepcja alternatywnych rozwiązań uwzględnia elementy teorii obsługi masowej i opiera się na triadzie:

- koszt,
- czas,
- jakość obsługi klienta.

Rozważania prowadzone są w kontekście tzw. reguły „VIP”: *Visible* – wyraźna obniżka kosztów, *Important* – znaczny efekt obniżki kosztów, *Probable* – duże prawdopodobieństwo osiągnięcia efektu [Pfohl 1998, s. 101], co uznaje się za sukces.

W realizacji podjętego tematu wykorzystano metody z zakresu teorii masowej obsługi, tj. teorii kolejek, elementy rachunku prawdopodobieństwa oraz modelowanie optymalizacyjne.

Obiektem badań było przedsiębiorstwo produkcyjne BETA SA – prowadzące działalność w branży dziewiarskiej na terenie województwa łódzkiego. Proces badawczy przeprowadzono na podstawie informacji z tego przedsiębiorstwa za lata 2007–2009.

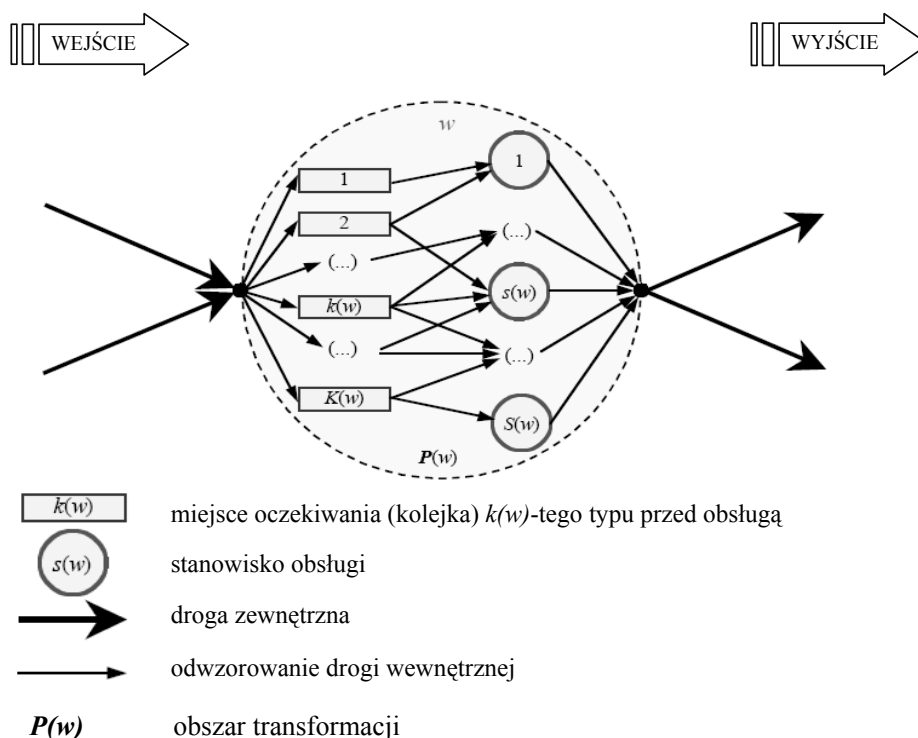
## Konstrukcja modelu optymalizacyjnego

Przedsiębiorstwo BETA SA realizuje dystrybucję towarów przy udziale około 100 partnerów handlowych w kraju i około 30 poza granicami. Zakres problematyki dystrybucyjnej jest w badanym przedsiębiorstwie istotnym elementem systemu organizacyjnego zbytu. W przedsiębiorstwie wyodrębniony jest Zakład Transportu, który funkcjonuje samodzielnie, ma odrębność ekonomiczno-finansową. Świadczy on usługi transportowo-spedycyjne na rzecz jednostki

macierzyste na podstawie zawartych umów wewnętrznych. Zadania transportowo-spedycyjne realizowane są również w systemie pośrednim, co oznacza, że przedsiębiorstwo BETA SA wykorzystuje pośredników w procesie dystrybucji do końcowego odbiorcy.

Niezależnie od realizowanego w danym czasie systemu, dążenie do sprawnej i efektywnej obsługi transportowej przejawia się m.in. w redukcji czasu oczekiwania środka transportu na obsługę i jest warunkiem obniżania jej kosztów. Oczekiwanie jednostek transportowych (klientów)  $\{k(w)\}$  skutkuje tworzeniem się kolejki i wynika z braku synchronizacji między „wejściem” do systemu obsługi a „wyjściem” z niego po załadowaniu zamówionym towarem. Graficzny obraz elementów systemu masowej obsługi przedstawiono na rysunku 1.

Jak widać, między elementami systemu zachodzą interakcje: kolejny klient  $k(w)$  może być obsłużony przez dowolne stanowisko obsługi  $s(w)$ , przy czym ilość stanowisk powinna być dostosowana do intensywności strumienia napływu kolejnych klientów.



**Rysunek 1**  
 Elementy struktury systemu masowej obsługi  
 Źródło: [Wasiak 2006, s. 176].

Sprawność systemu obsługi zależy od wartości parametrów charakteryzujących system. Do podstawowych charakterystyk zalicza się:

- parametr ( $\lambda$ ) opisujący stopę przybyć, tj. przeciętną liczbę klientów przybywających do systemu w jednostce czasu; inaczej – jest to odwrotność przeciętnego czasu dzielącego dwóch kolejnych klientów, czyli  $\lambda = \frac{1}{\bar{t}}$  (przeciętny czas między kolejnymi klientami);
- parametr intensywności obsługi ( $\mu$ ) zwany stopą obsługi; jest to przeciętna liczba klientów obsłużonych w jednostce czasu;
- parametr intensywności ruchu ( $\rho$ ); jego wartość wyraża stosunek liczby klientów przybywających do systemu do liczby klientów obsłużonych w jednostce czasu.

Synchronizację systemu zapewniają stanowiska obsługi  $\{s(w)\}$ , jeśli spełnione są warunki skracania kolejki.

Warto zauważyć, że wymienione parametry pozwalają ocenić stabilność systemu obsługi. Zakładając, że obie stopy, tj.  $\lambda$  oraz  $\mu$  są stałe, w przypadku gdy  $\lambda < \mu$  – układ jest w stanie równowagi. Oznacza to, że kolejka ma określoną długość w każdej jednostce czasu i nie występuje tendencja do jej wydłużania. Z kolei relacja  $\lambda \geq \mu$  oznacza układ niestabilny, w którym prawdopodobieństwo wydłużenia kolejki rośnie.

Problem kolejki zostaje rozwiązany po znalezieniu najlepszego wariantu usprawniającego pracę stanowisk obsługi. Oznaczać to może zalecenie zwiększenia wydajności stanowisk obsługujących lub zwiększenia ich liczby.

Optymalizację systemu dystrybucji w BETA SA przeprowadzono dwuetapowo. W pierwszym etapie określono minimalny poziom kosztów transportowo-spedycyjnych, związanych z realizacją zadań dystrybucyjnych, a przede wszystkim oczekiwaniem środków transportu na załadunek<sup>1</sup>. W tym celu wykorzystano model (1):

$$\min K(\mu^*) = \min \left[ \mu K_{obj} + \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \cdot K_{poj} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$K_{poj}$  – jednostkowy koszt oczekiwania na obsługę (załadunek) obliczony na podstawie czasu „straconego” w kolejce w oczekiwaniu na załadunek,

<sup>1</sup> Zagadnienie minimalizacji kosztów funkcjonowania systemu obsługi autorka rozwinęła w artykule pt. *Minimalizacja kosztów obsługi transportu w procesie zaopatrzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego*, Logistyka, Nr 1/2008.

$K_{obj}$  – jednostkowy koszt obsługi obliczony na podstawie kosztu załadunku jednostki transportu,

$\mu^*$  – wartość optymalna obliczona zgodnie z formułą:  $\mu^* = \lambda + \sqrt{\lambda \frac{K_{poj}}{K_{obj}}}$

[Tymińska 2008, s. 74], pozostałe symbole podano wcześniej.

Model  $\min K(\mu^*)$  jest kryterium optymalizacyjnym minimalizacji łącznych kosztów: oczekiwania na obsługę (załadunek) i kosztów samej obsługi.

W warunkach przedsiębiorstwa BETA SA poszczególne elementy modelu (1) kształtują się następująco:  $\lambda = 0,51$ ;  $\rho = 0,60$  oraz  $\mu^* = 0,85$ ;  $K_{poj} = 310$  zł;  $K_{obj} = 920$  zł. W związku z tym na mocy formuły (1):  $\min K(\mu^*) = 1085$  zł.

W drugim etapie przeprowadzono modelowanie optymalizacyjne procesu dystrybucji, przyjmując jako kryterium optymalizacji osiągnięcie maksymalnego poziomu zysku. Punktem wyjścia było uwzględnienie wyników badań z pierwszego etapu, z którego wynika zalecenie podwojenia liczby stanowisk obsługowych, gdyż funkcjonujące obecnie dwa stanowiska są niewystarczające dla zachowania sprawności systemu obsługi. Wiąże się to jednak z poniesieniem nakładów inwestycyjnych. W przedsiębiorstwie BETA SA wynoszą one 400 000 zł, w rachunku optymalizacyjnym rozłożone są na 2 lata, stąd średnio na dzień 571 zł. Z przeprowadzonego zgodnie z modelem (2) rachunku kosztów wynika, że łączne koszty funkcjonowania systemu obsługi transportu wynoszą:

$$Kc(x) = 1085x + 1800x + \frac{571}{x} \quad (2)$$

gdzie:

$Kc(x)$  – całkowite koszty transportu,

$x = 1, 2, \dots, y$  – liczba środków transportu zaangażowanych w systemie dystrybucji,

1800 zł – jednostkowy średni koszt wynajmu środka transportu w BETA SA.

W prowadzonej optymalizacji usług transportowych kryterium maksymalizacji zysku przyjmuje postać (3):

$$\max(z) = \max_z \left\{ 6000y - [1085n + 1800n] + \frac{571}{n} \right\} \quad (3)$$

gdzie:

$z$  – wartość (zysku) dziennego z zaangażowanych  $n$  środków transportu (w zł),  
6000 (zł) – średnia wartość dochodu brutto przypadająca na jeden środek transportu,

$n$  – liczba przygotowanych dziennie środków transportu.

Na podstawie przedstawionych konstrukcji modelowych przeprowadzono proces optymalizacji transportu w obszarze dystrybucji produktów finalnych w warunkach badanego przedsiębiorstwa.

## Wyniki badań

Przedsiębiorstwo BETA SA dysponuje dziennie liczbą  $y$  środków transportu;  $y$  może przyjmować wielkości: 0, 1, 2, ...,  $y \dots n = 12$ . Liczba przygotowanych środków transportu jest zmienną losową  $X$ . Może przyjmować wartości: 0; 1; ...;  $x$ , z prawdopodobieństwem  $p(0)$ ,  $p(1)$ , ...,  $p(x)$ . W przypadku, gdy  $x > n$ , tj. zapotrzebowanie na usługi dystrybucyjne  $x$  jest większe od  $n$  składów samochodowych, pozostających w dyspozycji przedsiębiorstwa, to wówczas  $x - n$  klientów nie może być obsłużonych. W związku z tym rozważany problem efektywności procesów dystrybucyjnych w przedsiębiorstwie BETA SA sprowadza się do:

1. Ustalenia optymalnej liczby zamówień możliwych do zrealizowania w ciągu dwuzmianowego dnia pracy, przy założeniu, że dzienna liczba zamówień jest zmienną losową o rozkładzie Poissona.
2. Przygotowania odpowiedniej liczby środków transportu ( $n$ ) do realizacji zamówień przy spełnieniu warunku kryterialnego, jakim jest osiągnięcie maksymalnego poziomu zysku.

W tabeli 1 zawarto wartości prawdopodobieństwa  $p(x)$  zaangażowania ( $y$ ) środków transportu, stosując zgodnie z założeniami teorii masowej obsługi rozkład Poissona.

**Tabela 1**  
Rozkład Poissona prawdopodobieństwa liczby klientów

Realizacja (x)	Prawdopodobieństwo $p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$	Realizacja (x)	Prawdopodobieństwo $p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$
0	0,002	9	0,068
1	0,014	10	0,041
2	0,044	11	0,022
3	0,089	12	0,011
4	0,133		
5	0,160		
6	0,160		
7	0,137		
8	0,103		

Źródło: Badania własne.

Wartości  $p(x)$  służą do ustalenia oczekiwanego zysku przy zaangażowaniu do realizacji zadań dystrybucyjnych odpowiedniej liczby środków transportu.

W tabeli 2 zawarto wielkości liczbowe niezbędne do obliczenia optymalnego oczekiwanego zysku. Na mocy formuły (3) ustalono dla poszczególnych wariantów dziennego zaangażowania środków transportu oczekiwany zysk  $E(z)$ . I tak np. dla  $n = 5$  oraz  $y = 2$  będzie:

$$z_2 = 6000 \cdot 2 - \left( 1085 \cdot 5 + 1800 \cdot 5 + \frac{571}{5} \right) = -2539,2 \text{ (zł)}$$

przy poziomie  $p(z) = 0,044$  otrzymano oczekiwaną wartość zysku

$$E(z) = -2539,2 \cdot 0,044 = -111,7 \text{ (zł)};$$

z kolei dla  $n = 8$  oraz  $y = 8$  będzie:

$$z = 6000 \cdot 8 - \left( 1085 \cdot 8 + 1800 \cdot 8 + \frac{571}{8} \right) = 24248,6 \text{ (zł)}$$

Uwzględniając następnie poziom prawdopodobieństwa zmiennej  $x$  ustalono zysk równy 6485,5 (zł) =  $(24248,6 \cdot 0,261)$ , co oznacza, że firma dysponując liczbą  $n$  środków transportu angażuje  $n = 8$  samochodów (zgodnie z liczbą przyjętych zamówień na produkty) z prawdopodobieństwem  $p(z) = 0,261$ ; zysk osiągnięty w tym przypadku wyniesie 6485,5 (zł).

Rozkład prawdopodobieństwa oczekiwanej wartości zysku ( $p(z)$ ) z wynika bezpośrednio z prawdopodobieństwa zaangażowania określonej liczby środków transportu ( $y$ ). Stąd:

$$p(z) = p(y) \tag{4}$$

gdzie:

$p(z)$  –prawdopodobieństwo oczekiwanej wartości zysku

Wartość oczekiwana zysku  $E(z)$  wynika z zależności (3) i (4):

$$E(z) = z \cdot p(z) \tag{5}$$

Przyjmując dzienną liczbę zamówień jako zmienną losową o rozkładzie Poissona, zysk dzienny jest wartością oczekiwaną, również o rozkładzie Poissona [Tymiński 2002, s. 103–104]. Ułatwia to ocenę sytuacji oraz sprecyzowanie optymalnej decyzji. Należy bowiem wyznaczyć wartość oczekiwaną zysku dla różnej liczby środków transportu i wybrać wariant maksymalizujący tę wartość.

Proces decyzyjny przeprowadzono dla  $n$  środków transportu, przy czym  $n = (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)$ . Maksimum oczekiwanego dochodu wystąpiło przy  $n = 5$  i  $y = 5$  (11 100,8 zł). Stanowi to podstawę projektu reorganizacji systemu transportowego w przedsiębiorstwie BETA SA.

Zaproponowany proces optymalizacji usług transportowych w podsystemie dystrybucji w logistycznym łańcuchu dostaw w przedsiębiorstwie dziewiarskim otworzył możliwość modyfikacji funkcjonowania obsługi i podniesienia sprawności samej dystrybucji. Tym samym powstały warunki zwiększenia poziomu jego efektywności finansowej. Kolejne etapy analizy decyzyjnej ujęto w schemat blokowy koncepcji modelu optymalizacyjnego przedstawiony na rysunku 1.

Wybrane narzędzia z obszaru teorii obsługi masowej pozwalają przeprowadzić proces badawczy i skonstruować model systemu dystrybucji w sposób precyzyjny, umożliwiając podejmowanie decyzji w sytuacjach o charakterze losowym.

Przeprowadzone rozważania dotyczące zwiększenia efektywności finansowej przedsiębiorstwa przez racjonalną organizację obsługi transportu w procesie dystrybucji implikują następujące wnioski:

1. Przeprowadzony rachunek optymalizacyjny organizacji transportu w systemie dystrybucji firmy uzasadnia prowadzenie systematycznych badań w przedsiębiorstwie zmierzających do minimalizacji poziomu łącznych kosztów: obsługi przybywającego po załadunek środka transportu oraz oczekiwania na obsługę.
2. Model efektywności pozwala określić optymalną strategię angażowania samochodów do realizacji zadań dystrybucyjnych. Przedsiębiorstwo powinno dążyć do osiągnięcia poziomu minimalnego kosztów dla średniej liczby obsługiwanych środków transportu, zakładając przy tym, iż optymalny przeciętny czas obsługi transportu nie ulegał istotnym zmianom.
3. Decyzje w obszarze dystrybucji wiążą się z wyborem spośród możliwych wariantów takich rozwiązań, które przyniosą prawdopodobny zysk, którego oczekiwana wartość powinna być maksymalna. Zatem maksymalizacja wartości oczekiwanego zysku jest rezultatem optymalizacji decyzji w obszarze organizacji dystrybucji wyrobów gotowych przedsiębiorstwa.

## Literatura

- CHRISTOPHER M. 2000: *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw – strategia obniżki kosztów i poprawy poziomu usług*, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Warszawa.
- CIESIELSKI M. (red.) 2003: *Logistyka we współczesnym zarządzaniu*, Wyd. AE Poznań.
- COYLE J.E., BARDI J., JOHN C., LANGLEY Jr. 2003: *Zarządzanie logistyczne*, PWE, Warszawa.



- HAJDUL M. 2006: *Przebudowa systemu transportowego z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych oraz wielokryterialnego wspomagania decyzji*, [w:] Materiały konferencyjne *Systemy logistyczne. Teoria i praktyka*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa.
- KIEŻUN W. 1997: *Sprawne zarządzanie organizacją*, Wyd. SGH, Warszawa.
- KRAWCZYK S. 2001: *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa.
- KUKUŁA K. (red.) 2004: *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, PWN, Warszawa.
- PFOHL H.Ch. 1998: *Zarządzanie logistyką. Funkcje i instrumenty*. ILiM, Poznań.
- TYMIŃSKA M. 2008: *Minimalizacja kosztów obsługi transportu w procesie zaopatrzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego*, *Logistyka*, Nr 1/2008.
- TYMIŃSKI M. 2002: *Teoria masowej obsługi*, [w:] *Turystyka i hotelarstwo*. Wyd. WSTiH, Łódź.
- WASIAK M. 2006: *Odwzorowanie systemów logistycznych jako systemów masowej obsługi*, [w:] *Materiały konferencyjne Systemy logistyczne. Teoria i praktyka – Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna*, Warszawa.

## **Optimization of transport organization in distribution system of company**

### **Abstract**

The paper deals with reflections on the optimal organization of transportation services for the tasks involved in the distribution business of light industry. Authors present a model to use solutions to improve the flow of streams of goods from the supplier to customers while increasing economic efficiency in the distribution of finished products. The article presents the possibility of using selected decision-making tools to support a rational choice of the variant of action, while stressing the benefits the tools offer in the practice of company.

