

**WYKORZYSTANIE TEORII KOLEJEK W PROCESIE DECYZYJNYM
PRZEDSIĘBIORSTWA TRANSPORTOWEGO**

**USE OF THE RAILWAY THEORY IN THE TRANSPORT ENTERPRISE
DECISION-MAKING PROCESS**

Krzysztof FICOŃ

Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich

***Streszczenie:** W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania teorii kolejek (masowej obsługi) do analizy optymalizacyjnej małego przedsiębiorstwa transportowego dysponującego jednym samochodem dostawczym. We wstępie przedstawiono zasady funkcjonowania systemów masowej obsługi oraz podstawowy aparat matematyczny, który był niezbędny na etapie planowania rozwoju kolumny samochodowej wybranej firmy usługowej. Dla przykładowej firmy transportowej wyznaczono podstawowe parametry ilościowe, które były podstawą podjęcia racjonalnej decyzji o zwiększenie parku samochodowego.*

***Abstract:** The paper presents the concept of using the theory of mass service for the optimization analysis of a small transport company with one delivery van. The introduction presents the principles of the operation of mass service systems and the basic mathematical apparatus that was necessary at the stage of planning the development of the car's column of a selected service company. For the example transport company, basic quantitative parameters were set, which were the basis for a rational decision to increase the fleet.*

***Słowa kluczowe:** system, masowa obsługa, firma, transport, dane statystyczne*

***Keywords:** system, mass service, company, transport, statistical data*

WSTĘP

Teoria masowej obsługi (TMO), zwana też teorią kolejek, jest jedną z aplikacyjnych gałęzi badań operacyjnych opartą na rachunku prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej. Z uwagi na dynamikę czasową i losowość rozpatrywanych zjawisk gospodarczych, szeroko korzysta z teorii procesów stochastycznych. Zasadniczym celem teorii masowej obsługi jest opracowanie naukowych metod pomocnych przy usprawnieniu losowych procesów i systemów masowej obsługi, tak bardzo popularnych w życiu codziennym. Proponuje ona szereg metod analitycznych wykorzystywanych do oceny jakości prakseologicznych systemów masowej obsługi w różnych dziedzinach nauki i praktyki. Dzięki temu ocenę tych systemów można prowadzić na podstawie wymiernych wskaźników ilościowych, co pozwala na docelową optymalizację ich struktur organizacyjno-funkcjonalnych. W rękach doświadczonych menedżerów, przy odpowiednim wsparciu informatycznym jest doskonałym narzędziem usprawniającym funkcjonowanie rzeczywistych systemów działania. Dla

zarządzającego tym systemem najważniejszym zadaniem jest użytkowanie systemu w sposób najbardziej efektywny i skuteczny.

W teorii masowej obsługi kryterium efektywności dotyczy przede wszystkim klientów-użytkowników tego systemu i jest ukierunkowane na ograniczenie prognozowanego czasu ich obsługi. Spełnienie tego kryterium przyczynia się w najwyższym stopniu do wzrostu efektywności działania i rynkowej konkurencyjności rozmaitych podmiotów gospodarczych.

Teoria masowej obsługi jest narzędziem uniwersalnym, które znajduje szerokie zastosowanie we wszystkich obszarach działalności technicznej, biznesowej, społecznej, w których występują praktyczne problemy kolejek klientów (zgłoszeń) oczekujących na obsługę. Bardzo często zarówno strumień zgłaszających się do obsługi klientów, jak też czas oczekiwania na obsługę oraz czas trwania samej obsługi są w różnym stopniu procesem losowym, zmiennym w czasie. Szczególną dynamiką czasową odznaczają się procesy transportowe z natury polegające na pokonaniu czasu i przestrzeni. Stąd użyteczność teorii masowej obsługi w obszarze działalności transportowej jest bardzo duża, a zastosowane metody mogą przyczynić się do ewidentnych korzyści natury organizacyjnej i ekonomicznej.

W prezentowanej pracy na wstępie zostały przedstawione podstawowe elementy teorii masowej obsługi, niezbędne w dalszych badaniach modelowego systemu transportowego. Rozważania skoncentrowano na analitycznych formułach i wskaźnikach wykorzystywanych podczas usprawniania systemów rzeczywistych (modelowych). Na bazie zaproponowanych narzędzi badawczych w dalszej części przeprowadzono analizę modelowego systemu transportowego i podjęto próbę jego usprawnienia pod kątem minimalizacji czasu obsługi potencjalnego klienta. Ze względu na bardzo bogatą literaturę przedmiotu rozważania teoretyczne ograniczono do niezbędnego minimum koncentrując się przede wszystkim na specyfikacji analitycznych wskaźników, będących obiektem sterowania z odpowiednich szczebli menedżerskich.

1. GENEZA I PODSTAWOWE POJĘCIA TEORII MASOWEJ OBSŁUGI

Teoria systemów masowej obsługi wywodzi się ze sfery systemów telekomunikacyjnych, które szczegółowo badał A.K. Erlang. Efektem tych badań były następujące założenia modelowe. Najczęściej w systemie masowej obsługi mamy do czynienia ze skończoną liczbą stanowisk obsługi i z reguły jeszcze większą liczbą klientów (zgłoszeń) kierowanych do obsługi. Przyjmuje się, że liczba klientów może dążyć do nieskończoności. Klienci przebywający w systemie co jakiś czas wysyłają niezależnie od siebie losowo żądanie obsługi, które jak wykazał Erlang, mają rozkład Poissona. Aby system masowej obsługi działał, ostatni warunek nie jest regułą i nie musi być spełniony. Poszczególne zgłoszenia generowane są niezależnie od siebie – abonenci nie wchodzą

w żadne interakcje, ani nie ustalają terminu zgłaszania się do systemu. Czas obsługi zgłoszenia (rozmowy telefonicznej) ma rozkład wykładniczy, a obsługa poszczególnych zgłoszeń przebiega według kolejności zgłoszeń, czyli wg kryterium FIFO (*First In First Out*). System masowej obsługi można zdefiniować jako: celowo zaprojektowana do wykonywania określonych zadań struktura organizacyjno-funkcjonalna, której zasadniczymi elementami są poczekalnia (kolejka), stanowiska (kanały) obsługi oraz strumień wejściowy i wyjściowy (Koźniewska, Włodarczyk, 1978, s. 32).

Teoria masowej obsługi, zajmuje się budową modeli matematycznych, które można wykorzystać w racjonalnym zarządzaniu prakseologicznymi systemami działania o ruchu ciągłym, zwanymi systemami masowej obsługi. Pojęcie systemu masowej obsługi (SMO) odnoszone jest przede wszystkim do systemów usługowych i produkcyjnych – rzeczywistych i wirtualnych, świadczących określone usługi (obsługi) na rzecz klientów zgłaszających taką potrzebę. Pospolitymi przykładami takich systemów są:

- placówki handlowe, markety, sklepy,
- instytucje finansowe i placówki bankowe,
- obiekty i instytucje administracji publicznej,
- zakłady usługowe, serwisowe, w tym firmy transportowe,
- publiczne instytucje usługowe np. służba zdrowia, przychodnie, szpitale,
- przedsiębiorstwa i zakłady produkcyjne (wytwórcze),
- obiekty i składy magazynowe, centra logistyczne,
- duże obiekty infrastrukturalne (porty lotnicze, morskie),
- centra usług telekomunikacyjnych,
- systemy komputerowe obsługujące użytkowników.

Jak każda praktyczna dyscyplina naukowa teoria masowej obsługi operuje charakterystycznym systemem pojęć i definicji (Kopocińska, 1963). Podstawowe pojęcia związane z teorią masowej obsługi to: zgłoszenie, obsługa, stanowisko obsługi, poczekalnia (kolejka), zdarzenie, strumień wejściowy, strumień wyjściowy i system masowej obsługi (rysunek 1). Zazwyczaj intensywność strumienia zgłoszeń oraz intensywność strumienia obsługi są niezależne od siebie i mają charakter losowy. Zgłaszania klientów do systemu obsługi spływają zwykle zgodnie z rozkładem Poissona, zaś czas ich obsługi przebiega według rozkładu wykładniczego (Gniedenko, Kowalenko, 1971). Duże dysproporcje między intensywnością strumienia zgłoszeń i strumienia obsługi statystycznie nie gwarantują wysokiej stabilności pracy danego systemu masowej obsługi. Bezproduktywny w tym przypadku czas oczekiwania systemu obsługi na zgłoszenie powoduje niepełne wykorzystanie mocy produkcyjnej, co implikuje niepotrzebne koszty eksploatacji pustych stanowisk obsługi. Istnieje też druga strona tych dysproporcji – zbyt intensywny spływ zgłoszeń

klientów powoduje przepełnienie systemu obsługi i konieczność niekomfortowego oczekiwania klienta na obsługę, co obniża rynkowe standardy obsługi klienta i rzutuje na rynkową konkurencyjność tego systemu obsługi.

Celem teorii masowej obsługi jest proponowanie użytecznych metod analitycznych pomocnych przy rozwiązywaniu zagadnień związanych z realizacją pewnych procesów, także stochastycznych (Czujew, 1973). Przykładem takiego procesu są procesy masowej obsługi, które powinny przebiegać w sposób optymalny ze względu na przyjęte kryterium – najczęściej natury ekonomicznej czy formalnej. W szczególnym przypadku teoria ta pozwala na wybór optymalnej struktury organizacyjno-funkcjonalnej prakseologicznego systemu działania. Dzięki temu znajduje ona szerokie zastosowanie w procesie podejmowania decyzji przy projektowaniu optymalnych struktur rozmaitych systemów działania, zwanych też systemami kolejkowymi lub masowej obsługi (Koning, Stoyan, 1979).

2. KONCEPCJA FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW MASOWEJ OBSŁUGI

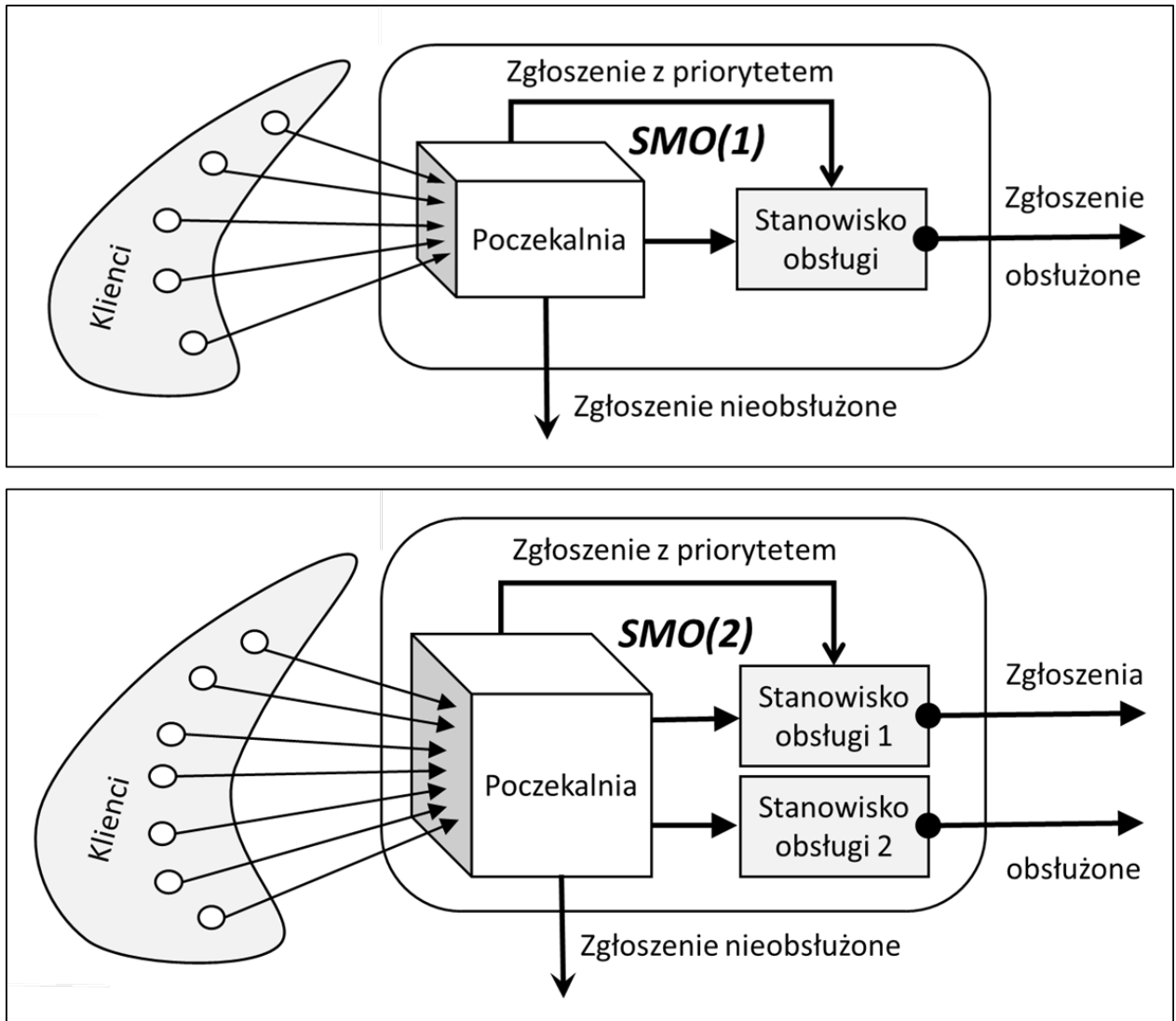
W rzeczywistych systemach masowej obsługi (SMO) mamy do czynienia z pięcioma rodzajami strumieni, a mianowicie:

- strumieniem wejściowym zgłoszeń napływających w miarę upływu czasu (np. pacjenci, klienci, kupujący, uszkodzone pojazdy, surowiec do produkcji),
- strumieniem wyjściowym obsłużonych zgłoszeń (pacjentów, klientów, pojazdów, zleceń),
- strumieniem nieobsłużonych zgłoszeń chwilowo oczekujących w pewnej kolejce (poczekalni) na obsługę,
- strumieniem zgłoszeń, które nie akceptują oczekiwania w kolejce i opuszczają system jako nieobsłużone,
- strumieniem zgłoszeń, które w przypadku wystąpienia kolejki otrzymują dodatkowy priorytet przyspieszający ich obsługę.

Elementem roboczym systemu masowej obsługi są stanowiska obsługi realizujące określone procesy czynności) obsługi na rzecz klienta (zgłoszenia) np. stanowisko diagnostyczne, produkcyjne, gabinet lekarski, sklep, kasa itp. Do pełnego opisu systemu masowej obsługi wymagana jest znajomość liczby stanowisk obsługi oraz liczby miejsc w kolejce zgłoszeń oczekujących na obsługę. W poczekalni może występować skończona lub nieskończona liczba miejsc, determinująca długość kolejki. Kolejka mogą rządzić różne kryteria utrzymania dyscypliny zgłoszeń oczekujących (rys. 1).

Zgodnie z teoretycznym modelem Erlanga wszystkie zgłoszenia wpływające do systemu obsługiwane są jako równoprawne, w kolejności zgłoszeń. W praktyce mogą wystąpić różne systemy priorytetowania kolejności obsługi zgłoszeń wpływających do systemu SMO:

- FIFO (*First in First Out*) – kolejność obsługi według kolejności przybycia;
- SIRO (*Selection in Random Order*) – kolejność obsługi losowa;
- LIFO (*Last in Last Out*) – ostatnie zgłoszenie jest obsłużone, jako pierwsze.



Rys. 1. Zasada funkcjonowania systemu masowej obsługi SMO(1) i SMO(2)

Źródło: Opracowanie własne.

Niekiedy wprowadza się dodatkowy priorytet dla niektórych zgłoszeń (usług), np. bezwzględny priorytet usługi oznacza, że zostaje przerwane aktualnie wykonywana obsługa obiektu, a na jego miejsce wchodzi obiekt z takim priorytetem.

Wejściowy strumień zgłoszeń jest charakteryzowany za pomocą następujących parametrów:

- intensywność strumienia wejściowego (intensywność przybywania),
- liczba zgłaszających się klientów (trend),
- czas czekania na klienta.

Proces obsługi zgłoszeń opisują następujące parametry:

- czas obsługi (bez czasu czekania w kolejce),

- rozkład czasu obsługi, np. wykładniczy.

W każdym kanale obsługi może występować wiele stanowisk obsługi, działających niezależnie od siebie i realizujących różne zadania. Poszczególne kanały obsługi charakteryzowane są za pomocą następujących parametrów:

λ – intensywność zgłaszania się klientów (zgłoszeń) do systemu obsługi, wyrażona liczbą zgłoszeń przypadających na jednostkę czasu. Przyjmuje się, że ma ona rozkład Poissona,

μ – intensywność obsługi zgłoszeń na danym stanowisku obsługi, będąca przeciętną liczbą zgłoszeń obsłużonych w jednostce czasu. Przyjmuje się że ma ona rozkład wykładniczy,

s – liczba równoległych (niezależnych) kanałów obsługi,

ρ – parametr intensywności ruchu w systemie, oznaczający stosunek liczby klientów zgłaszających się do systemu do liczby klientów obsłużonych w jednostce czasu.

W dynamice systemów masowej obsługi rozpatrywane są dwa charakterystyczne przypadki, prowadzące do stanu równowagi lub nierównowagi:

- jeśli $\lambda < s\mu$ układ zmierza do stanu równowagi i oznacza, że prawdopodobieństwo tego, iż kolejka ma określoną długość jest stałe w każdej jednostce czasu,
- jeśli $\lambda \geq s\mu$ układ jest niestabilny, a prawdopodobieństwo coraz dłuższej kolejki zgłoszeń oczekujących na obsługę rośnie.

W ogólności rozróżnia się dwa rodzaje systemów masowej obsługi: systemy z oczekiwaniem oraz bez oczekiwania. W systemie z oczekiwaniem zgłoszenie oczekuje w kolejce na obsługę finalną, natomiast w systemie bez oczekiwania, kiedy wszystkie stanowiska obsługi są zajęte, nie obsłużone zgłoszenie opuszcza system. Tradycyjnie w teorii i praktyce systemów masowej obsługi wyróżniamy: jednokanałowe systemy obsługi i wielokanałowe systemy obsługi.

3. ZAŁOŻENIA MODELU MATEMATYCZNEGO SYSTEMU MASOWEJ OBSŁUGI

Model matematyczny funkcjonowania SMO opiera się na teorii procesów stochastycznych, w którym występują zmienne losowe typu:

- czas upływający między wejściem do systemu dwóch kolejnych zgłoszeń,
- czas obsługi jednego zgłoszenia przez stanowisko obsługi.

Zmienne losowe mogą mieć różne rozkłady prawdopodobieństwa typu: rozkład deterministyczny, w którym występują jednakowe odstępy czasowe, rozkład wykładniczy, rozkład Erlanga lub dowolny rozkład. Między poszczególnymi strumieniami losowymi dotyczącymi czasu oczekiwania na przybycie zgłoszenia do systemu oraz czasu obsługi zgłoszenia może występować zależność lub niezależność zmiennych losowych.

Ze względu na losową naturę systemów masowej obsługi interesujące są wzory wyrażające wielkość szacowanego prawdopodobieństwa wystąpienia określonego zdarzenia, takie jak:

- 1) Prawdopodobieństwo, że czas obsługi zgłoszenia (T) w systemie będzie zawierał się w przedziale ($t_1 \leq T \leq t_2$):

$$P(t_1 \leq T \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \mu e^{-\mu x} dx = e^{-\mu t_1} - e^{-\mu t_2}; \quad t_1 < t_2 \quad (1)$$

gdzie:

μ – intensywność procesu obsługi,

$\frac{1}{\mu}$ – średni czas trwania obsługi.

- 2) Prawdopodobieństwo, że aktualnie w systemie nie ma zgłoszeń ($n = 0$):

$$P(n = 0) = \frac{1}{X_{n=0}} \quad (2)$$

$$X_{n=0} = \sum_{i=0}^{s-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^s}{(s - \rho)(s - 1)!} \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba klientów znajdujących się w systemie obsługi,

s – liczba równoległych kanałów (stanowisk) obsługi.

- 3) Przeciętna liczba klientów oczekujących w kolejce:

$$Q = \frac{\rho^{s+1} P(n = 0)}{(s - \rho)^2 (s - 1)!} \quad (4)$$

- 4) Prawdopodobieństwo, że w kolejce oczekuje n -klientów

$$P(n) = \frac{\rho^n P(n = 0)}{n!} \quad \text{dla } n \leq s \quad (5)$$

$$P(n) = \frac{\rho^n r^{s-n} P(n = 0)}{s!} \quad \text{dla } n > s \quad (6)$$

- 5) Prawdopodobieństwo, że w kolejce oczekuje więcej niż n_0 -klientów, pod warunkiem ($n_0 > s - 1$):

$$P(n > n_0) = \frac{\rho^{n_0+1} r^{s-n_0} P(n = 0)}{(s - \rho) s!} \quad \text{dla } n > s \quad (7)$$

6) Prawdopodobieństwo, że czas oczekiwania w kolejce jest dłuższy niż t_0 :

$$P(t > t_0) = P(n > s - 1)e^{-\mu t_0(s-\rho)} \quad (8)$$

Dla szczególnego stanu równowagi systemu masowej obsługi, gdy spełnione są następujące warunki:

- strumień zgłoszeń λ ma rozkład Poissona,
- długość kolejki jest nieograniczona,
- występuje pojedynczy kanał obsługi,
- strumień obsługi μ ma rozkład wykładniczy oraz

$$\lambda \leq \mu \quad (9)$$

można wyprowadzić pewne wzory uproszczone, które dostatecznie dobrze opisują funkcjonowanie tego systemu.

Jak wykazał D.G. Kendall w licznych zastosowaniach praktycznych można uzyskać zadawalające wyniki bez stosowania zaawansowanej aparatury statystycznej, gdyż wystarczy posługiwać się przeciętną długością kolejki i przeciętnym czasem oczekiwania w kolejce wynikającym z losowego strumienia zgłoszeń. Przykładami takich formuł są:

Dynamika ruchu zgłoszeń w systemie:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (10)$$

Przeciętna liczba zgłoszeń w systemie:

$$N = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (11)$$

Przeciętna liczba zgłoszeń w kolejce:

$$N = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (12)$$

Przeciętny czas oczekiwania na obsługę:

$$T_o = \frac{\rho}{\mu - \lambda} \quad (13)$$

Przeciętny czas spędzony w systemie:

$$T_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (14)$$

Powyższe wzory posłużą do analizowania i oceny przykładowo wybranego systemu masowej obsługi funkcjonującego w małym przedsiębiorstwie transportowym.

4. PRZYKŁAD LICZBOWY

Właściciel małej firmy transportowej dysponującej jednym samochodem dostawczym po pewnym czasie funkcjonowania na rynku stwierdził coraz większe zainteresowanie klientów jego usługami. Wobec dużego strumienia klientów i ograniczonym potencjałem obsługowym stanął przed decyzją rozwoju firmy i rozważa możliwość pozyskania drugiego środka transportu celem sprostanie rosnącemu popytowi.

Słuszność planowanej decyzji o ewentualnym rozwoju firmy zamierza sprawdzić za pomocą aparatu teorii masowej obsługi. W tym celu dla pewnego horyzontu czasowego przygotował zestaw danych statystycznych obrazujących intensywność wpływających zleceń rynkowych oraz intensywność ich realizacji. Odpowiednie dane statystyczne w formie pewnych szeregów czasowych przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Okresowe dane statystyczne przedsiębiorstwa transportowego

| Dni robocze | Nr zlecenia | Intensywność spływu zleceń [godz.] | Czas obsługi zlecenia [godz.] |
|-------------|-------------|------------------------------------|-------------------------------|
| D1 | Z1 | 0 | 2 |
| | Z2 | 2 | 3 |
| | Z3 | 1,5 | 2,5 |
| D2 | Z4 | 3 | 1,5 |
| | Z5 | 2 | 3 |
| | Z6 | 2,5 | 2,5 |
| | Z7 | 2 | 1,5 |
| D3 | Z8 | 2,5 | 3 |
| | Z9 | 2 | 4 |
| D4 | Z10 | 3 | 3 |
| | Z11 | 2 | 4 |
| | Z12 | 1,5 | 2,5 |
| | Z13 | 2 | 2 |
| D5 | Z14 | 3 | 2,5 |
| | Z15 | 2 | 2,5 |
| | Z16 | 3 | 2 |
| | Z17 | 2,5 | 3 |
| Suma: | | 36,5 | 44,5 |

Źródło: Opracowanie własne.

Dane statystyczne zawarte w tabeli 1 zostaną wykorzystane do wyznaczenia najbardziej charakterystycznych wskaźników opisujących firmowy system masowej obsługi. W pierwszej kolejności wyznaczmy parametry podstawowe dotychczasowego systemu obsługi, takie jak:

Intensywność strumienia zgłoszeń:

$$\lambda = 17/36,5 = 0,466 \quad (15)$$

Intensywność strumienia obsługi:

$$\mu = 17/44,5 = 0,382 \quad (16)$$

Wskaźnik dynamiki ruchu:

$$\rho = \frac{0,466}{0,382} = 1,22 \quad (17)$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że zachodzi:

$$(\lambda = 0,466) > (\mu = 0,382) \Leftrightarrow (\rho > 1) \quad (18)$$

Ponieważ dynamika ruchu spełnia warunek $\rho > 1$, oznacza to, że badany system jest układem niestabilnym, w którym prawdopodobieństwo rosnącej kolejki, w miarę jak $(t \rightarrow \infty)$ będzie się zwiększać. Aby osiągnąć stan rynkowej (systemowej) równowagi, należy albo skrócić czas obsługi klientów, albo na drodze inwestycyjnej zwiększyć liczbę samochodów obsługujących potencjalnych klientów. Oznacza to jednocześnie, że przesłanki do pozyskania kolejnego samochodu zostały spełnione. Zgodnie ze wzorem () jeśli zwiększymy liczbę samochodów obsługujących klientów firmowych do 2 to możemy oczekiwać zwiększenia jakości obsługi. W tym celu wyznaczmy następujące parametry operacyjne nowego systemu:

Wskaźnik dynamiki ruchu:

$$\rho = \frac{0,466}{2 \times 0,382} = 0,61 \quad (19)$$

Stan równowagi systemu:

$$(\lambda = 0,466) > (2\mu = 0,764); \quad \rho < 1 \quad (20)$$

Prawdopodobieństwo, że nie będzie kolejki:

$$P(n = 0) = \frac{1}{1,878} = 0,532 \quad (21)$$

Prawdopodobieństwo, że w kolejce oczekuje więcej niż $(n = 0)$ klientów:

$$P(n > 0) = \frac{1,298}{2,78} = 0,467 \quad (22)$$

Prawdopodobieństwo, że więcej niż ($n > 2$) klientów oczekuje na transport:

$$P(n > 2) = \frac{0,0736}{2,78} = 0,0264 \quad (23)$$

Przeciętna liczba klientów oczekujących w kolejce na transport:

$$Q = \frac{0,198}{1,932} = 0,1024 \quad (24)$$

Jak wynika z przeprowadzonych badań, pozyskanie drugiego środka transportu zwiększyło radykalnie konkurencyjność firmy, gdyż wpłynęło bardzo korzystnie na zredukowanie kolejki klientów oczekujących na transport. Statystyczne prawdopodobieństwo, że nie będzie kolejki wynosi obecnie 53,2%, co odpowiada wartości 46,8%, że w kolejce będzie oczekiwał jakiś klient. Na minimalnym poziomie 2,64% kształtuje się prawdopodobieństwo, że więcej niż 2 klientów będzie oczekiwać na transport. Statystycznie zaledwie 0,1 klienta będzie oczekiwać w kolejce na transport. Wynika stąd generalny wniosek, mówiący o tym, że decyzja o włączeniu dodatkowego samochodu do firmowego systemu obsługi jest zasadna. Przedstawiony model małej firmy transportowej może być dowolnie zmodernizowany, aby obejmował bardziej realne przypadki kanałów wielostanowiskowych, co skutkuje większą złożonością aparatu analitycznego, dlatego w dobie komputerów powszechnie wykorzystuje się do tego celu uniwersalne narzędzia i aplikacje informatyczne.

ZAKOŃCZENIE

Ze względu na losowość strumieni obsługowych i dużą złożoność, metody stosowane w analizie systemów masowej obsługi dzielą się na dwie zasadnicze grupy i obejmują: metody analityczne oraz metody symulacyjne. Metody analityczne opierają się głównie na złożonych równaniach różniczkowych, które precyzyjnie opisują losowość procesów obsługowych i strumieni wejścia/wyjścia w kategoriach rachunku prawdopodobieństwa. Najczęściej równania te są rozwiązywane przy silnych założeniach na stabilność rozpatrywanych procesów w dostatecznie długich odcinkach czasowych. Założenie to sprawia, że układ równań różniczkowych przekształca się w odpowiadający mu układ algebraiczny, który daje się rozwiązać znacznie łatwiej niż pierwotne równania różniczkowe. Metoda ta może być stosowana w przypadku prostych, najczęściej jedno- lub dwukanałowych systemów obsługi przy ściśle określonych założeniach nakładanych na strumienie wejścia/wyjścia i czasy obsługi.

Zakładamy, że wejściowy strumień zgłoszeń kierowanych do systemu jest prostym strumieniem Poissona, a strumień wyjściowy obsłużonych zgłoszeń oraz czasy obsługi mają rozkład wykładniczy. W praktyce stanowi to duże uproszczenie, stąd stosowanie tych metod jest ograniczone. Czystym przykładem takich procesów są np.: problemy obsługi pasażerów na postoju taksówek, czy obsługa klientów w bankach lub urzędach administracji publicznej.

Coraz większą popularnością cieszą się metody symulacyjne oparte na modelowaniu symulacyjnym bezpośrednio wykorzystującym technologie komputerową. Burzliwy rozwój informatyki spowodował dużą dostępność jej atrakcyjnych narzędzi i dedykowanych aplikacji. Komputerowe metody symulacyjne pozwalają na wielowariantowe bardzo efektywne badania różnych rozwiązań organizacyjnych aktualnych systemów masowej obsługi, a w dalszej konsekwencji na wybór wariantów najbardziej korzystnych z punktu widzenia klienta, a także rozpatrywanego podmiotu. Możliwość wielokrotnej symulacji komputerowej procesu obsługi i statystyczne opracowanie wyników pozwala znaleźć optymalne wartości parametrów i wskaźników badanego systemu. Modelowanie symulacyjne oszczędza żmudny i pracochłonny etap obliczeń analitycznych i gwarantuje wysoką wiarygodność dokonanych analiz, pod warunkiem pełnej adekwatności i poprawności formalnej zbudowanego modelu. Dzięki symulacji komputerowej stało się możliwe badanie złożonych, wielokanałowych systemów masowej obsługi, czyli takich które są bardziej zbliżone do rozwiązań praktycznych.

Zaprezentowany powyżej prosty przykład liczbowy oparty na metodach analitycznych dowodzi dużej użyteczności teorii masowej obsługi do badania systemów rzeczywistych, spotykanych w codziennym życiu biznesowym, gospodarczym czy społecznym w realnych warunkach żywiłowej gospodarki rynkowej, cechującej się wielką losowością strumieni wejścia/wyjścia. Wykorzystanie różnych materiałów statystycznych jest często jedynym źródłem realnej wiedzy biznesowej, a taka idea jest powszechnie stosowana w teorii masowej obsługi.

Zaawansowany aparat teorii masowej obsługi wsparty narzędziami współczesnej informatyki wiernie oddaje realia losowej gospodarki rynkowej i dlatego jej metody są szeroko wykorzystywane w usprawnieniu funkcjonowania systemów i organizacji rzeczywistych. Obecnie do wsparcia złożonych procedur teorii masowej obsługi w zakresie podejmowania optymalnych decyzji, także biznesowych, wykorzystuje się powszechnie nowoczesne narzędzia informatyki, w tym m.in., takie aplikacje jak np.: WINQSB, FLEXSIM, CAST, VISSIM czy Java Modelling Tools. Umożliwiają one wielowariantowe analizy decyzyjne w trybie elastycznej symulacji komputerowej, co pozwala na wybór optymalnych rozwiązań ze względu na przyjęte kryteria i wymagania praktyczne .

LITERATURA:

- [1] FAURE, R., BOSS, J. P., & LE GARFF, A. (1982). *Badania operacyjne*. Państwowe Wydaw. Naukowe.
- [2] FICOŃ, K. (2006). *Badania operacyjne stosowane: modele i aplikacje*. BEL Studio.
- [3] FILIPOWICZ, B. (1996). *Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych: analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [4] GNIEDENKO, B., & KOWALENKO, N. (1971). *Wstęp do teorii masowej obsługi*. PWN Warszawa.
- [5] HELLWIG, Z. (1968). *Elementy rachunku probabilistycznego i statystyki matematycznej*. Warszawa 1968.
- [6] JACYNA, M. (2009). *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydaw. Politechnika Warszawska, Warsaw.
- [7] JACYNA, M. (1999). *Wybrane zagadnienia modelowanie systemów i procesów transportowych*. Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
- [8] JACYNA, M., & ŻAK, J. (2012). Zastosowanie teorii kolejek do analizy i oceny procesu transportowego w centrum logistycznym. *Logistyka*, 4, 275-284.
- [9] KACPRZYK, J., & WĘGLARZ, J. (2002). *Modelowanie i optymalizacja. Metody i zastosowania. Oficyna EXIT, Warszawa*.
- [10] KASPRZAK, T. (1974). Parametryczne zadanie wielokryterialnego wyboru (w:) *Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu*, red. T. Kasprzak, PWE, Warszawa.
- [11] KISIELEWSKI, P., SOBOTA Ł. (2016). Zastosowanie teorii masowej obsługi do modelowania systemów transportowych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17(6), 600-604.
- [12] KOPOCIŃSKI, B. (1973). *Zarys teorii odnowy i niezawodności*. Państwowe Wydaw. Naukowe.
- [13] KOZUBSKI, J. (2000). *Wprowadzenie do badań operacyjnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- [14] KOZNIEWSKA, I., & WŁODARCZYK, M. (1978). *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*. PWN, Warszawa, 335.
- [15] KRAWCZYK, S. (1996). *Badania operacyjne dla menedżerów*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego.
- [16] OBRETON, A., & DIMITROW, B. (1989). *Teoria masowej obsługi: Poradnik*. PWN.
- [17] ROZENBERG, W., PROCHOROW, A. (1965). *Teoria masowej obsługi*. Warszawa: PWE.
- [18] SOB CZYK, M. (2016). *Statystyka*. Warszawa: PWN.
- [19] TIHONENKO, O. M. (2003). *Modele obsługi masowej w systemach informacyjnych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT.

- [20] WOLSZCZAN, J. (1970). *Zastosowania teorii masowej obsługi w transporcie samochodowym*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [21] ZITEK, F. (1973). *Stracony czas: elementy teorii obsługi masowej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.