

Morski port handlowy jako wielokanałowy system masowej obsługi

Marine commercial port as multi-channel mass service system

W pracy przedstawiono propozycję wykorzystania teorii masowej obsługi i jej metod analitycznych do badania prakseologicznego systemu działania, którym jest morski port handlowy, traktowany jako wielokanałowy system masowej obsługi. We wstępie zaprezentowano założenia metodologiczne i podstawowe narzędzia badawcze teorii masowej obsługi, ukierunkowane na analizę morskiego portu handlowego. W dalszej części został przedstawiony wielokanałowy model morskiego portu handlowego, obejmujący 5 terminali portowych. Wybrany terminal kontenerowy posłużył do szczegółowych badań analitycznych za pomocą metod teorii masowej obsługi.

Słowa kluczowe:

teoria, metody, masowa obsługa, port morski, terminal kontenerowy.

The paper presents a proposal to use the theory of mass service and its analytical methods to study the praxeological operating system, which is a commercial sea port, treated as a multi-channel mass service system. The introduction presents the methodological assumptions and basic research tools of mass service theory focused on the analysis of the commercial sea port. In the next part, a multi-channel model of the commercial sea port was presented, covering 5 port terminals. The selected container terminal was used for detailed analytical research using the methods of mass service theory.

Key words:

theory, methods, mass service, sea port, container terminal.

Wstęp

Teoria masowej obsługi, zwana też teorią kolejek, jest dyscypliną matematyczną opartą na rachunku prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej i należy do kategorii nauk stosowanych, lokowanych często w szerokim nurcie badań operacyjnych. Powstanie teorii masowej obsługi wiąże się z badaniami nad losowymi procesami wypełnienia sieci telefonicznej prowadzonymi na początku XX w. przez A.K. Erlanga (1917). Utylitarne i powszechne zastosowanie teorii masowej obsługi znalazła pod postacią prakseologicznych systemów masowej obsługi, które posiadają bogaty dorobek narzędziowy i aplikacyjny. Najprostszy model systemu masowej obsługi zawiera jedno stanowisko obsługi, np. okienko kasowe, i jeden strumień zgłoszeń — klientów zgłaszających potrzebę obsługi. Jeśli spływające do systemu zgłoszenie zastaje stanowisko obsługi wolne, to jego obsługa zaczyna się natychmiast i trwa przez określony czas. Zgłoszenia, które zastają stanowisko obsługi zajęte, oczekują lub nie oczekują w kolejce (poczekalni) na zwolnienie tego stanowiska.

Budowa modelu systemu masowej obsługi polega na opisanu wejściowego strumienia zgłoszeń, określeniu zasad oczekiwania w kolejce i ustaleniu reguł

(technologii) obsługi. Matematyczny opis tego modelu polega na zdefiniowaniu losowego strumienia zgłoszeń, determinowanego regulaminem kolejki i losowego strumienia obsługi (Kozubski, 2000). Najczęściej przyjmuje się założenia, że zgłoszenia trafiają do systemu losowo i niezależnie od siebie, a opis takiego strumienia polega na podaniu rozkładu prawdopodobieństwa odstępstw między kolejnymi zgłoszeniami. W zastosowaniach praktycznych zakłada się, że jest to rozkład wykładniczy opisany za pomocą strumienia Poissona. Podobnie definiuje się losowy strumień obsługi, narzucając warunek, że obsługi przebiegają najczęściej według dowolnego rozkładu wykładniczego (Burzyński, 1977). Regulamin kolejki ustala reguły kierowania oczekujących zgłoszeń na stanowiska obsługi, czyli zarządzanie wyborem zgłoszeń, które w danym momencie będzie obsługiwane. Najbardziej typowe specyfikacje tego regulaminu dotyczą zgłoszeń, np. najdłużej lub najkrócej oczekujących w kolejce, albo stosowane są różne priorytety. Charakterystyka technologii obsługi polega na podaniu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej będącej czasem obsługi i ewentualnym określeniu innych parametrów, np. czasu przerw technologicznych.

Z punktu widzenia naukowego zasadniczym celem teorii masowej obsługi jest określenie probabili-

stycznych charakterystyk systemu obsługi, tj. rozkładu prawdopodobieństwa czasu oczekiwania na rozpoczęcie obsługi, czasu realizacji obsługi, a także liczby zgłoszeń przebywających w systemie, liczby zgłoszeń oczekujących w kolejce i wielu innych parametrów (Gniedenko, Kowalenko, 1971). Celem utylitarnej teorii masowej obsługi jest proponowanie użytecznych metod analitycznych pomocnych przy rozwiązywaniu zagadnień związanych z realizacją pewnych procesów, tj. czynności przebiegających w czasie i zużywających określone zasoby kadrowe, materiałowe czy energetyczne. Procesy masowej obsługi powinny przebiegać w sposób optymalny ze względu na przyjęte kryterium — najczęściej natury społecznej, ekonomicznej, organizacyjnej 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 systemami masowej obsługi (Ficoń, 2017).

Jako praktyczny przykład aplikacji teorii masowej obsługi na gruncie gospodarczym zostanie zaprezentowany morski port handlowy, świadczący specjalistyczne usługi na rzecz zawijających do niego statków i transportowanych drogą morską towarów, występujący tutaj jako multimodalny system masowej obsługi (Ficoń, 2016). W kontekście standardów obsługowych morski port handlowy jest wielokanałowym systemem obsługi, realizującym określone usługi transportowo-przeładunkowe i magazynowo-dystrybucyjne przy szerokim wsparciu różnymi serwisami portowymi. Biorąc pod uwagę współczesne technologie funkcjonowania portów morskich w modelowej strukturze organizacyjno-funkcjonalnej morskiego portu handlowego, zostało wyróżnionych 5 terminali przeładunkowych: drobnicowy, kontenerowy, masowy, promowy i pasażerski oraz sektor specyficznych usług portowych. Zgodnie z obowiązującym prawem koordynacją działalności tych podmiotów zajmuje się Zarząd Portu Morskiego, zwany dalej systemem zarządzania (Ficoń, 2011). Jeśli więc morski port handlowy potraktujemy jako wielokanałowy system masowej obsługi, w jego strukturze możemy formalnie wyróżnić pięć roboczych kanałów (systemów) obsługi obejmujących pięć terminali przeładunkowych i sektor usług portowych. Funkcje sterownicze pełni system zarządzania koordynujący prace wszystkich systemów roboczych — kanałów obsługi.

Podstawową tezę badawczą pracy można sformułować w postaci postulatu wnioskującego o dużej przydatności teorii i metod masowej obsługi do badania losowej dynamiki i efektywności złożonych systemów prakseologicznych, którym w tym przypadku będzie morski port handlowy rozumiany jako wielokanałowy system masowej obsługi.

Podstawowe pojęcia i wzory teorii masowej obsługi

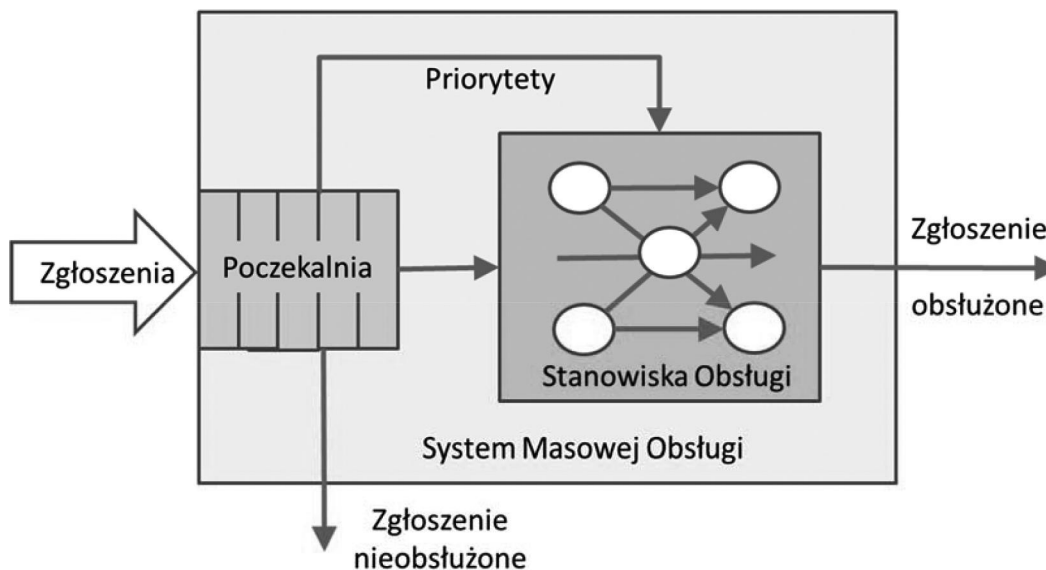
Zbiór podstawowych pojęć związanych z teorią masowej obsługi obejmuje takie kategorie, jak: zgłoszenie, obsługa, stanowisko obsługi, poczekalnia (kolejka), zdarzenie, strumień wejściowy, strumień wyjściowy i system masowej obsługi (Koning, Stojan, 1979).

- Zgłoszenie — żądanie zrealizowania określonej czynności (obsługi) przez dany system, stosowne do jego możliwości organizacyjno-funkcjonalnych.
- Obsługa — spełnienie określonej potrzeby lub oczekiwań zgłaszanych przez potencjalnych klientów. Inaczej obsługa oznacza realizację statutowych zadań przypisanych do danego systemu masowej obsługi.
- Stanowisko obsługi — miejsce (urządzenie, agregat), na którym wykonywane są czynności obsługowe, często odpowiednio zorganizowane i wyposażone w wymagane narzędzia i różne pomoce.
- Poczekalnia — symboliczne miejsce, gdzie gromadzone są spływające do systemu zgłoszenia w oczekiwaniu na obsługę. Poczekalnia służy do formułowania kolejki spływających zgłoszeń. Każda poczekalnia posiada indywidualny regulamin ustawiania zgłoszeń w kolejkę.
- Strumień wejściowy — ciąg zgłoszeń spływających do systemu, wymagających odpowiedniej obsługi. Strumień wejściowy z reguły ma charakter losowy i posiada określony rozkład prawdopodobieństwa.
- Strumień wyjściowy — zgłoszenia wychodzące z systemu masowej obsługi (produkt), które mogą być zarówno obsłużone, jak też z różnych względów nieobsłużone.
- Zdarzenie — ciąg różnych zdarzeń losowych związanych z jednej strony z procesem przybywania zgłoszeń do systemu, z drugiej natomiast, z fizycznym procesem ich obsługi na poszczególnych stanowiskach obsługi.

Teoria masowej obsługi znajduje wielorakie praktyczne zastosowanie pod postacią prakseologicznych systemów masowej obsługi. Według koncepcji holistycznej przez pojęcie systemu obsługi będziemy rozumieć zbiór stanowisk (kanałów) obsługi o określonych możliwościach i właściwościach wraz z relacjami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Relacje zewnętrzne — wejściowe i wyjściowe — determinują system jako otwarty na pewne otoczenie systemowe, które oddziałuje w różny sposób na ten system. Elementy systemu masowej obsługi będziemy odnosić do pewnej sieci stanowisk (kanałów) obsługi, które wykonują określone zadania na zbiorze zgłoszeń wejściowych. W aspekcie prakseologicznym system masowej obsługi można zdefiniować jako: celowo zaprojektowaną do wykonywania określonych zadań strukturę organizacyjno-funkcjonalną, której zasadniczymi elementami są poczekalnia (kolejka), stanowiska (kana-

Rysunek 1

Model ideowy systemu masowej obsługi



Źródło: opracowanie własne.

ty) obsługi oraz strumień wejściowy i wyjściowy (Gniedenko, Kowalenko, 1971).

Realizowany w systemie proces obsługi może składać się z kilku faz technologicznych, a system o takich właściwościach nazywamy systemem wielofazowym. Fizyczne stanowiska obsługi będziemy identyfikować albo z osobami, albo z urządzeniami wykonującymi określone czynności, a w szczególnym przypadku mogą to być stanowiska wirtualne lub abstrakcyjne. Niekiedy pojedyncze stanowiska obsługi funkcjonują w strukturze tzw. kanałów obsługi jako struktury agregatowe. Dlatego systemy masowej obsługi możemy podzielić na systemy jedno- i wielostanowiskowe, a także jedno- i wielokanałowe. Natomiast ze względu na rodzaj agregatów tworzących stanowiska obsługi systemy te dzielimy na jednorodne i niejednorodne (Kozłowska, Włodarczyk, 1978). Struktura systemu obsługi, ze względu na sposób użytkowania stanowisk obsługi, może być szeregową, równoległą lub mieszaną (rys. 1).

Duże znaczenie praktyczne ma kryterium czasu oczekiwania zgłoszenia na obsługę, które dzieli systemy masowej obsługi na systemy ze stratami, z ograniczonym i nieograniczonym czasem oczekiwania. W systemie ze stratami każde przybyłe zgłoszenie albo zostanie obsłużone natychmiast, albo bezpowrotnie opuszcza system nie będąc obsłużone. Przeciwnością tego rodzaju systemu jest system bez strat, czyli z nieograniczonym czasem oczekiwania na obsługę. Systemy z ograniczonym czasem oczekiwania zajmują pozycję pośrednią między dwoma systemami skrajnymi — bez strat i ze stratami. Pojawiające się zgłoszenia oczekują w kolejce na obsługę tylko przez pewien limit czasu, po któ-

rym nieobsłużone opuszczają system (Rozenberg, Prochow, 1972).

Tradycyjnie w teorii i praktyce systemów masowej obsługi wyróżniamy: jednokanałowe systemy obsługi i wielokanałowe systemy obsługi. 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.

Aby wstępnie scharakteryzować system masowej obsługi, trzeba wyznaczyć trzy podstawowe parametry: intensywność strumienia zgłoszeń, intensywność strumienia obsługi oraz regulamin kolejki (Gniedenko, Kowalenko, 1979).

Średnią intensywność strumienia zgłoszeń (λ) definiujemy jako:

$$\lambda = \frac{1}{t_{\lambda}}, \quad (1)$$

gdzie:

t_λ — średni odstęp czasu między kolejnymi zgłoszeniami spływającymi do systemu w badanym okresie.

Średnią intensywność strumienia obsługi (μ) zdefiniujemy jako:

$$\mu = \frac{1}{t_\mu}, \quad (2)$$

gdzie:

t_μ — średni czas obsługi pojedynczego zgłoszenia w badanym okresie.

Jeśli strumień zgłoszeń ma rozkład Poissona, a intensywność obsługi opisana jest rozkładem wykładniczym oraz w kolejce zachowana jest dyscyplina typu FIFO, to funkcjonowanie takiego systemu można wyrazić za pomocą stopnia wykorzystania systemu (ρ), zwanego też stałą Erlanga:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (3)$$

Jeżeli $\rho > 1$ przy $t \rightarrow \mu$, kolejka rośnie do nieskończoności, natomiast gdy $\rho < 1$, problem kolejki nie istnieje. Przypadek $\rho = 1$ przy powyższych założeniach jest mało praktyczny. Parametr ρ pozwala wprowadzić szereg użytecznych wzorów, jak np.:

$$L_s = \frac{\rho^2}{1 - \rho}, \quad (4)$$

gdzie:

L_s — średnia liczba zgłoszeń w całym systemie (w kolejce i w kanałach obsługi);

$$L_k = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (5)$$

gdzie:

L_k — średnia liczba zgłoszeń oczekujących w kolejce na obsługę;

$$T_s = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad (6)$$

gdzie:

T_s — średni czas oczekiwania w systemie;

$$T_k = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}, \quad (7)$$

gdzie:

T_k — średni czas oczekiwania w kolejce;

$$p_n = \rho^n(1 - \rho), \quad (8)$$

gdzie:

p_n — prawdopodobieństwo tego, że w systemie znajduje się n -zgłoszeń:

Powyższe parametry charakteryzujące system obsługi posłużyły do stworzenia specjalnej notacji, tzw. klasyfikacji Kendalla w postaci:

$$X/Y/S, \quad (9)$$

gdzie:

X — symbol rozkładu wejściowego strumienia zgłoszeń,

Y — symbol rozkładu czasów obsługi zgłoszeń,

S — liczba stanowisk (kanałów) obsługi.

Najczęściej przyjmuje się, że strumień wejściowy zgłoszeń jest opisany rozkładem Poissona, a czas obsługi podlega rozkładowi wykładniczemu.

Kolejki krytycznym elementem systemów masowej obsługi

Zaprezentowaną teorię masowej obsługi zastosujemy do badania i usprawnienia prakseologicznego systemu działania, którym będzie pewien model morskiego portu handlowego. Na wstępie należy zauważyć, że w dobie globalizacji ponad 85% tonażu w skali świata przewożonych jest transportem morskim, którego punktami osobliwymi są porty morskie, jako miejsca rozpoczęcia lub zakończenia każdej podróży morskiej. Podstawą egzystencji portów morskich będących podmiotami gospodarczymi w gospodarce rynkowej są obroty portowo-towarowe, a wynik ekonomiczny (zysk) tych transakcji zależy od wielkości obrotów (Grzelakowski, Matczak, 2006).

Aby maksymalizować dynamikę przeładunków portowych, należy zwiększać intensywność portowej obsługi statków (towarów) i jednocześnie skracać czas ich postoju na redzie oraz przy nabrzeżach portowych (Ficoń, 2012). Intensywność przeładunków portowych zależy przede wszystkim od sprawności i wydajności portowych urządzeń przeładunkowych, zaliczanych powszechnie do suprastruktury portowej. Ten kierunek intensyfikacji przeładunków, portowych w dużej części należy do sfery działań inwestycyjnych i najczęściej wymaga pewnych nakładów kapitałowych na modernizację lub rozbudowę suprastruktury portowej (Ficoń, 2011). Znacznie łatwiej można zwiększyć dynamikę przeładunków, skracając czas obsługi statku, głównie w fazie oczekiwania na

wykonanie określonych usług portowych. Jednym słowem skracanie, kolejek w wymiarze czasowym, a także fizycznym jest działaniem bardzo pożądanym dla wszystkich stron transakcji portowo-towarowej.

Bezczynne oczekiwanie statku w kolejce na obsługę jest szczególnie dotkliwe dla armatora, który nie dość, że nie czerpie korzyści z dynamiki transportowej, to na dodatek ponosi różne opłaty portowe z tytułu postoju statku w porcie. Wielkie światowe porty morskie, aby zwiększyć poziom konkurencyjności na międzynarodowych rynkach żeglugowych, skracają do minimum czas obsługi statku w porcie, redukując tym sposobem zbędne koszty armatorów i załadowców.

Reasumując, można sformułować przypuszczenie, że kolejki są antytezą wysokich standardów działania wszelkich systemów masowej obsługi. Dlatego tak wiele uwagi poświęca się problematyce kolejek w ocenie sprawności i skuteczności działania prakseologicznych systemów masowej obsługi (Zitek, 1973). W tym celu teoria masowej obsługi formułuje określone zasady obsługi zgłoszeń oczekujących w kolejce zaliczane powszechnie do tzw. regulaminu kolejki, który określa kolejność realizacji poszczególnych zgłoszeń. W praktyce występują cztery najbardziej typowe zasady obsługi zgłoszeń (Koning, Stoyan, 1979):

$$\mathfrak{R} = \{FIFO, LIFO, RSS, PR\}, \quad (10)$$

gdzie:

FIFO (ang. *First In First Out*) — zgłoszenie, które oczekuje najdłużej w kolejce kierowane jest w pierwszej kolejności na stanowisko obsługi,

LIFO (ang. *Last In First Out*) — zgłoszenia, które przybyły do systemu ostatnie zostaną obsłużone w pierwszej kolejności,

RSS (ang. *Random Selection of Service*) — zgłoszenia obsługiwane są losowo, przy czym wybór każdego ze zgłoszeń jest tak samo prawdopodobny,

PR (ang. *Priority*) — zgłoszenie z kolejki posiada z różnym prawdopodobieństwem pierwszeństwo obsługi przed innymi zgłoszeniami.

Formalnie w kolejce występuje jeszcze jeden przypadek, kiedy nieobsłużone zgłoszenie z różnych przyczyn opuszcza kolejkę. Należy wówczas określić tę regułę, a najczęściej odnosi się ona do dopuszczalnego czasu oczekiwania w kolejce lub do długości kolejki.

Docelową redukcję kolejki do pewnego poziomu $\min (T_k \rightarrow \min)$ przy określonej intensywności strumienia zgłoszeń ($\lambda = \text{const}$) można uzyskać dwoma drogami, albo zmniejszając czas obsługi ($m \rightarrow \min$), albo zwiększając liczbę stanowisk obsługi ($S \rightarrow \max$):

$$(T_k \rightarrow \min \parallel \lambda = \text{const}) \Leftrightarrow \quad (11)$$

$$\Leftrightarrow (\mu \rightarrow \min) \wedge (S \rightarrow \max)$$

Nadmierne zmniejszanie czasu obsługi może prowadzić w skrajnych sytuacjach do ograniczenia i zaniżenia standardów jakości świadczonych usług, co na międzynarodowych rynkach żeglugowych jest nie do przyjęcia. Z kolei zwiększanie liczby stanowisk obsługi pociąga dodatkowe koszty ekonomiczne ich wdrażania i użytkowania, co wymaga precyzyjnych badań i analiz biznesowych. W postulatywnej minimalizacji kolejki należy więc znaleźć kompromis między jakością a kosztami i wybrać wariant optymalny przy określonych ograniczeniach (Obretow, Dimitrow, 1989). Ze względu na międzynarodowe uregulowania formalnoprawne obowiązujące w transporcie morskim minimalizacja wyśrubowanych norm i wskaźników w pracach portowo-przeładunkowych jest dość ograniczona i dlatego bardziej sensowna wydaje się droga inwestycyjna, czyli zwiększanie liczby stanowisk, co powoduje wzrost intensywności obsługi portowej (Bose, 2010).

Zasady funkcjonowania morskiego portu handlowego

Morski port handlowy przeznaczony jest przede wszystkim do obsługi statków i towarów w procesie transportu z wykorzystaniem drogi morskiej. Oprócz tej podstawowej funkcji transportowej pełni on szeregi innych funkcji gospodarczych, społecznych, a niekiedy cywilizacyjnych i politycznych. Według kryteriów biznesowych i transportowych jest miejscem, w którym każdy statek morski rozpoczyna lub kończy swoją podróż drogą morską. W porcie morskim wykonywane są określone kategorie usług dotyczących statku jako jednostki pływającej oraz towaru jako przedmiotu transakcji handlowej. Niekiedy usługi portowe mogą być wykonywane na rzecz załogi. Port morski to z jednej strony miejsce schronienia i bezpiecznego postoju statku, z drugiej — multimodalny punkt przeładunkowy towarów w relacji eksport/import (Ficoń, 2012).

Istnieje wiele różnorodnych kryteriów klasyfikacyjnych portów morskich, jednak w dalszych rozważaniach skupimy się na kryterium przestrzenno-funkcjonalnym, które przykładowo wyodrębnia autonomiczne terminale portowe, takie jak: terminale drobnicowe, kontenerowe, masowe, promowe, pasażerskie (rys. 2). Ze względu na dużą złożoność procesów portowo-przeładunkowych istotną rolę odgrywa sektor usług portowych, gwarantujący wymagane standardy bezpieczeństwa i zgodności z wymaganiami prawnymi międzynarodowymi. Koordynacją funkcjonowania tych terminali zajmuje się w ogólności Zarząd Portu, natomiast bieżącym zarządzaniem operacyjnym ich działalnością zajmuje się Kapitanat Portu (Misztal, Szwanowski, 2001).

$$MPH = \{SK, TD, TM, TP, TT, TK, SU\} \quad (12)$$

gdzie:

SK — system zarządzania morskim portem handlowym,

TD — morski terminal drobnicowy,

TK — morski terminal kontenerowy,

TM — morski terminal masowy,

TT — morski terminal promowy,

TP — morski terminal pasażerski,

SU — serwis usług portowych.

Każdy z powyższych terminali (systemów) portowych, a także nadrzędny System Zarządzania można przedstawić na gruncie ogólnej teorii systemów jako prakseologiczny, celowościowy układ posiadający wejście i wyjście systemowe oraz określoną strukturę organizacyjno-funkcjonalną, która przekształca najczęściej losowe strumienie wejściowe (potrzeb) w strumienie wyjściowe (świadczeń). Tak zarysowana struktura systemowa wykonuje określone zadania, w tym przypadku świadczy usługi przeładunkowe i pilotażowo-manewrowe na rzecz statków znajdujących się w porcie morskim. W obrocie portowo-morskim istnieje jeszcze cała gama czynności administracyjno-prawnych, którym poddawany jest towar, statek i załoga (Miształ, Szwankowski, 2001).

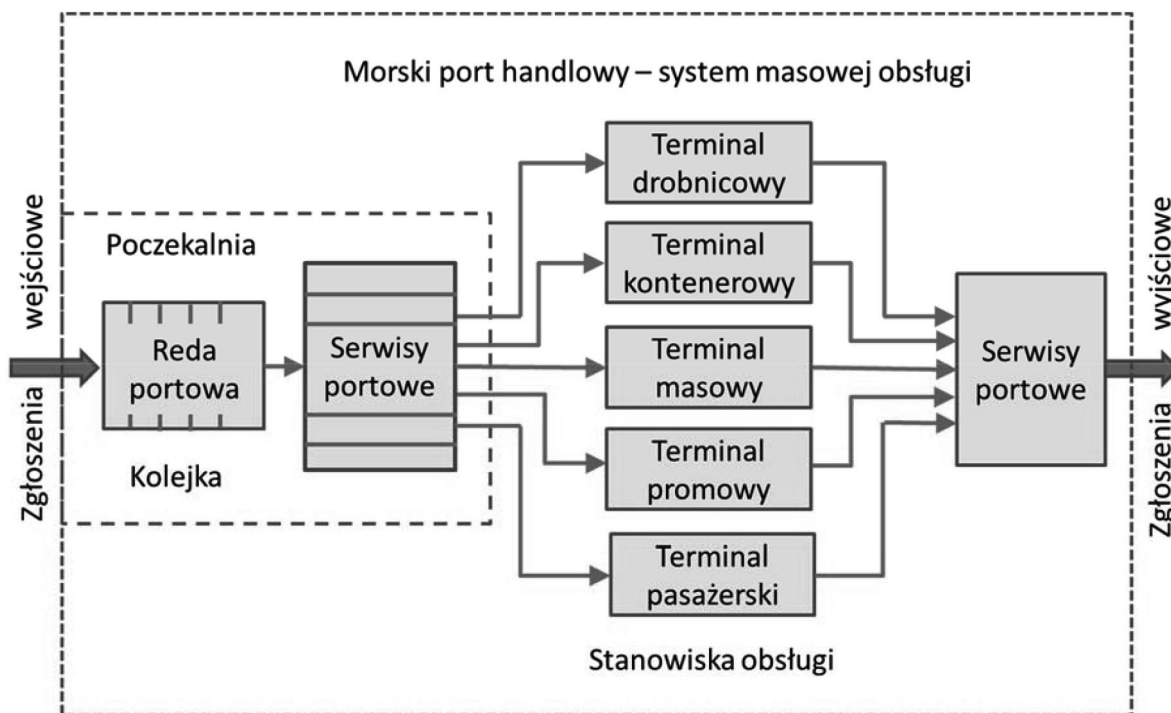
Morski port handlowy rozpatrywany jako system masowej obsługi funkcjonuje w szczególnych warunkach gospodarczo-ekonomicznych wplecionych w międzynarodową konkurencję, jaka panuje na światowym rynku żeglugowym (Ficoń, 2016). Podsta-

wą funkcjonowania morskiego portu handlowego oprócz wewnętrznych krajowych i resortowych uregulowań formalnoprawnych są międzynarodowe ustalenia i przepisy związane głównie z bezpieczeństwem żeglugi na szlakach morskich. Zasadniczym regulatorem życia gospodarczego portów morskich są naturalne, częściowo losowe prawa popytu i podaży rynkowej. Wszystkie te uwarunkowania rzutują znacząco na wejściowy strumień zgłoszeń wpływających do systemu *MPH*, które w ogólności są losowe o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa. Rynkowy strumień podaży — potrzeb w zakresie usług portowych jest w ogólności losowy i podlega różnym wahaniom w zależności od trendów koniunkturalnych panujących na rynkach światowych (Neider, 2008).

Nowoczesne systemy łączności radiowej i komunikacji satelitarnej, a zwłaszcza Internet sprawiły, że wejściowy strumień zgłoszeń został wstępnie uporządkowany i jest sukcesywnie układany w pewną kolejkę na długo przed planowanym wejściem statku do danego portu. Kolejka statków delegowanych do określonych portów ma dziś charakter globalny i wirtualny i jest formułowana automatycznie zgodnie z potrzebami światowego rynku żeglugowego. Efektem bezpośrednim tej wirtualnej kolejki są planowane wejścia statków do określonych portów. Strumień wejściowy zgłoszeń (statków) do danego portu jest wstępnie porządkowany na etapie losowych awizacji wejść statków do portu. Armator, przewoźnik czy spedytor awizuje planowane wejście, które jest do-

Rysunek 2

Modelowa struktura morskiego portu handlowego



Źródło: opracowanie własne.

datkowo koordynowane na poziomie wirtualnej kolejki funkcjonującej mniej lub bardziej formalnie w sieci Internet albo w innych tzw. sieciach społeczności portowej typu PCS (*Port Community System*) (Ficoń, Krasnodębski, 2017). Szczegółowy harmonogram wejść statków do danego portu, istniejący na szczeblu Systemu Zarządzania (Kapitanatu Portu), jest pochodną losowego strumienia popytu rynkowego na usługi tego portu. Zarysowana koncepcja wirtualnego szeregowania zgłoszeń na wejście do portu obsługuje pierwszy poziom kolejki, w której gromadzone są zgłoszenia.

Dzięki kolejce wirtualnej tradycyjna kolejka statków oczekujących na redzie na wejście do danego portu jest dziś stosunkowo mała, a niekiedy tylko symboliczna związana z przyjęciem pilota portowego na pokład statku. Upřednia awizacja statku i potwierdzenie jej aktualności ze strony portowego Systemu Zarządzającego powoduje, że stosownie do zgłaszanych potrzeb przeładunkowych jest rezerwowane miejsce postojowe w określonym terminalu. Dzięki temu statek z redy jest wprowadzany bezpośrednio do właściwego terminala, gdzie sprawnie następuje jego obsługa. Czas obsługi statku przy danym nabrzeżu przeładunkowym jest funkcją wielkości przeładowanego woluminu towarowego (liczby kontenerów, pojazdów, pasażerów) oraz szybkości prac przeładunkowych, czyli wydajności portowych urządzeń przeładunkowych (Szwankowski, 2000).

Po zakończeniu prac przeładunkowych dokonywane są niezbędne czynności administracyjno-portowe i statek w asyście pilota (lub bez), ewentualnie przy pomocy holowników, opuszcza dany port jako obsługowany — załadowany lub rozładowany. W międzynarodowej praktyce portowo-morskiej proces obsługi statku wymaga dopełnienia jeszcze wielu innych czynności administracyjno-technicznych, które wykonywane są w odpowiedniej kolejności, nie zawsze równolegle, co wydłuża czas obsługi (postoju) statku w porcie (Ficoń, Krasnodębski, 2016).

Struktura strumieni wejścia/wyjścia

Wszystkie portowe systemy terminalowe pracują na bazie wejściowych strumieni zgłoszeń — statków kierowanych ze szczebla Systemu Zarządzania do danego terminala. Faktycznie są to losowe zgłoszenia, które zostały wstępnie awizowane i uporządkowane w kolejce wirtualnej przed planowanym przybyciem statku na redę danego portu. Strumieniem wyjściowym jest zbiór statków obsługanych w danym terminalu według określonej specyfiki i technologii przeładunkowej, które najczęściej wymagają

dotatkowej obsługi ze strony Serwisu Usług Portowych. Terminalowe stanowiska przeładunkowe to miejsca postojowe statków przy których odbywa się rozładunek/załadunek statku, za pomocą odpowiednich urządzeń suprastruktury portowej (Salomon, 2013).

Wejściowy strumień zgłoszeń do systemu MPH dzieli się formalnie na strumienie dziedziczne:

$$\lambda_{MPH} = \{\lambda_{SZ}, \lambda_{TD}, \lambda_{TC}, \lambda_{TM}, \lambda_{TT}, \lambda_{TP}, \lambda_{SP}\} \quad (13)$$

gdzie:

- λ_{MPH} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń w systemie MPH,
- λ_{SZ} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń w Systemie Zarządzania,
- λ_{TD} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń na terminalu drobnicowym,
- λ_{TC} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń na terminalu kontenerowym,
- λ_{TM} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń na terminalu masowym,
- λ_{TT} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń na terminalu promowym,
- λ_{TP} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń na terminalu pasażerskim,
- λ_{SP} — średnia intensywność strumienia zgłoszeń w serwisie usług portowych.

Podobnie wyjściowy strumień świadczeń (produktywności) systemu MPH reprezentują następujące kategorie dziedziczne:

$$\mu_{MPH} = \{\mu_{SZ}, \mu_{TD}, \mu_{TC}, \mu_{TM}, \mu_{TT}, \mu_{TP}, \mu_{SP}\} \quad (14)$$

gdzie:

- μ_{MPH} — średnia intensywność strumienia obsługi w morskim porcie handlowym,
- μ_{SZ} — średnia intensywność strumienia obsługi w Systemie Zarządzania,
- μ_{TD} — średnia intensywność strumienia obsługi na terminalu drobnicowym,
- μ_{TC} — średnia intensywność strumienia obsługi na terminalu kontenerowym,
- μ_{TM} — średnia intensywność strumienia obsługi na terminalu masowym,
- μ_{TT} — średnia intensywność strumienia obsługi na terminalu promowym,
- μ_{TP} — średnia intensywność strumienia obsługi na terminalu pasażerskim,
- μ_{SP} — średnia intensywność strumienia obsługi w serwisie usług portowych.

Przyjmujemy założenia, że każdy z wyodrębnionych systemów składowych może pracować w oparciu o różną liczbę stanowisk obsługowych:

$$S_{MPH} = \{S_{SZ}, S_{TD}, S_{TC}, S_{TM}, S_{TT}, S_{TP}, S_{SP}\} \quad (15)$$

gdzie:

- S_{MPH} — średnia liczba stanowisk obsługi w systemie MPH,
- S_{SZ} — liczba stanowisk obsługi w Systemie Zarządzania,
- S_{TD} — liczba stanowisk obsługi na terminalu drobnicowym,
- S_{TC} — liczba stanowisk obsługi na terminalu kontenerowym,
- S_{TM} — liczba stanowisk obsługi na terminalu masowym,
- S_{TT} — liczba stanowisk obsługi na terminalu promowym,
- S_{TP} — liczba stanowisk obsługi na terminalu pasażerskim,
- S_{SP} — liczba stanowisk obsługi w serwisie usług portowych.

Na podstawie powyższych charakterystyk dla każdego wyodrębnionego terminala (systemu roboczego) można będzie wyznaczyć tzw. intensywność ruchu w systemie (stałą Erlanga):

$$\rho_{MPH} = \{\rho_{SZ}, \rho_{TD}, \rho_{TC}, \rho_{TM}, \rho_{TT}, \rho_{TP}\} \quad (16)$$

gdzie:

ρ_{MPH} — średnia dynamika ruchu w systemie MPH,

$\rho = \frac{\lambda}{\mu S}$ — średnia dynamika ruchu w systemie MPH,

$\rho_{SZ} = \frac{\lambda_{SZ}}{\mu_{SZ} S_{SZ}}$ — średnia dynamika ruchu w Systemie Zarządzania,

$\rho_{TD} = \frac{\lambda_{TD}}{\mu_{TD} S_{TD}}$ — średnia dynamika ruchu na terminalu drobnicowym,

$\rho_{TC} = \frac{\lambda_{TC}}{\mu_{TC} S_{TC}}$ — średnia dynamika ruchu na terminalu kontenerowym,

$\rho_{TM} = \frac{\lambda_{TM}}{\mu_{TM} S_{TM}}$ — średnia dynamika ruchu na terminalu masowym,

$\rho_{TT} = \frac{\lambda_{TT}}{\mu_{TT} S_{TT}}$ — średnia dynamika ruchu na terminalu promowym,

$\rho_{TP} = \frac{\lambda_{TP}}{\mu_{TP} S_{TP}}$ — średnia dynamika ruchu na terminalu pasażerskim.

Praktycznie każdy terminalowy kanał obsługi (terminal portowy) funkcjonuje według zarysowanego powyżej schematu z uwzględnieniem przeznaczenia poszczególnych statków, terminali i towarów. Zupełnie inaczej funkcjonuje portowy System Zarządzania i Serwis Usług Portowych, które posiadają dużą odrębność wynikającą z profilu wykonywanych zadań. W przypadku Systemu Zarządzania strumieniem wejściowym zgłoszeń są informacje operacyjne o ruchu statków w porcie — awiza, prośby, zlecenia, meldunki itp. Natomiast wyjściowym strumieniem zgłoszeń obsługowanych są decyzje dla pilotów portowych, kapitanów holowników i obsługiwanych statków, a także otwarte zlecenia dla różnych operatorów portowych, którzy będą uczestniczyć w obsłudze danego statku. Stanowiska obsługi to miejsca pracy osób kompetentnych — podejmujących decyzje w zakresie profilu obsługi danego statku (Salomon, 2013).

Serwis Usług Portowych bazuje na dyspozycjach, jakie otrzymuje od Systemu Zarządzania lub od kapitana statku albo jego armatora, mówiących o potrzebie wykonania określonej usługi. Strumieniem wejściowym do Serwisu Usług Portowych są zlecenia na wykonanie określonej usługi portowej wpływające ze szczebla Systemu Zarządzania lub od kapitanów poszczególnych statków albo od agentów okrętowych (Ficoń, 2009). W ogólności zgłoszenia te mają charakter strumieni losowych o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa — z założenia wykładniczym

Tabela 1

Zbiorcze zestawienie charakterystyk obsługowych terminali portowych

Nazwa systemu	Strumień zgłoszeń	Strumień obsługi	Liczba stanowisk	Dynamika ruchu
System Zarządzania	λ_{SZ}	μ_{SZ}	S_{SZ}	ρ_{SZ}
Terminal Drobnicowy	λ_{TD}	μ_{TD}	S_{TD}	ρ_{TD}
Terminal Kontenerowy	λ_{TC}	μ_{TC}	S_{TC}	ρ_{TC}
Terminal Masowy	λ_{TM}	μ_{TM}	S_{TM}	ρ_{TM}
Terminal Promowy	λ_{TT}	μ_{TT}	S_{TT}	ρ_{TT}
Terminal Pasażerski	λ_{TP}	μ_{TP}	S_{TP}	ρ_{TP}
System MPH	λ_{MPH}	μ_{MPH}	S_{MPH}	ρ_{MPH}

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Struktura strumieni wejścia/wyjścia terminali portowych

Symbol	System	Strumień wejściowy	Stanowiska obsługi	Strumień wyjściowy
SK	System Zarządzania	Awizo — zgłoszenie wejścia/wyjścia	Kapitanat MPH	Przydział nabrzeża
SP	Serwisy Portowe	Statki wchodzące/wychodzące	Załadunek/wyładunek	Usługi portowe
TD	Terminal Drobnicowy	Statki drobnicowe/drobnica	Załadunek/wyładunek	Statki obsłużone
TC	Terminal Kontenerowy	Statki kontenerowe/kontenery	Załadunek/wyładunek	Statki obsłużone
TM	Terminal Masowy	Statki masowe/ładunki masowe	Załadunek/wyładunek	Statki obsłużone
TT	Terminal Promowy	Statki — promy/samochody, wagony	Załadunek/wyładunek	Statki obsłużone
TP	Terminal Pasażerski	Statki pasażerskie/pasażerowie	Zaokrętowanie/wyokrętowanie	Statki obsłużone

Źródło: opracowanie własne.

Poissona. Strumieniem wyjściowym z tego serwisu są zrealizowane usługi na rzecz statku zgłaszającego taką potrzebę. Stanowiska obsługi są bardzo zróżnicowane i przykładowo będą to portowe pilotówki, holowniki, śmieciarki, bunkierki, a także obiekty magazynowe, środki transportu wewnętrznego oraz urządzenia i systemy przeładunkowe (Ficoń, 2011).

Aplikacja systemu masowej obsługi na terminalu kontenerowym

Każdy z wyodrębnionych terminali portowych może być przeanalizowany za pomocą aparatu matematycznego teorii masowej obsługi. Do badań aplikacyjnych został przykładowo wybrany terminal kontenerowy, który został opisany za pomocą modelu typu M/M/1 z użyciem następujących charakterystyk obsługowych:

- Intensywność strumienia zgłoszeń: $\lambda_{TC} = \text{tydzień}/5$
- Intensywność strumienia obsługi: $\mu_{TC} = \text{tydzień}/7$
- Liczba stanowisk obsługi: $S_{TC} = 1$

W modelu pominięto skomplikowaną strukturę technologiczną procesu przeładunku kontenerów, koncentrując się wyłącznie na kumulowanym czasie obsługi jednego statku-kontenerowca (Bose, 2010). Na podstawie modelowych danych wejściowych $\lambda_{SR} = 5$, $\mu_{SR} = 7$, $S_{SR} = 1$ według serii wzorów (3)–(8) zostały wyznaczone następujące charakterystyki obsługowe terminala kontenerowego:

- Współczynnik ruchu: $\rho_{TC} = 0,7143$
- Średnia liczba zgłoszeń w systemie: $L_S = 2,5$
- Średnia długość kolejki: $L_k = 1,7857$
- Średni czas oczekiwania w kolejce: $T_s = 1,0$
- Średni czas oczekiwania w systemie: $T_k = 0,8333$
- Prawdopodobieństwo n -zgłoszeń w systemie: $p_n = 0,2041$

Aby zademonstrować, w jaki sposób liczba stanowisk obsługi, w tym przypadku liczba suwnic nabrzeżowych, wpływa na kształtowanie się podstawowych charakterystyk obsługowych terminala kontenerowego, przeprowadzono serię badań analitycznych, polegających na powiększaniu liczby ob-

sługujących dany statek suwnic od $A = 1$, poprzez $B = 2$, $C = 3$ aż do $D = 4$ przy zachowaniu wszystkich pozostałych parametrów na dotychczasowym poziomie (rys. 3).

W praktyce portowej najczęściej liczba suwnic obsługujących kontenerowce przy nabrzeżu wynosi 2, rzadziej 3, a wielkie kontenerowce mogą być obsługiwane nawet przez 4 i więcej suwnic jednocześnie. Zwiększanie liczby suwnic jednocześnie obsługujących jeden statek zarówno przy rozładunku, jak też przy załadunku pociąga za sobą dużą komplikację transportu lądowego obsługującego poszczególne suwnice (Ficoń, 2017). Wymaga to wielkiej koordynacji pracy suwnic z ruchem środków transportu lądowego — portowego, samochodowego czy kolejowego, rzadziej śródlądowego (Grzelakowski, Matczak, 2006).

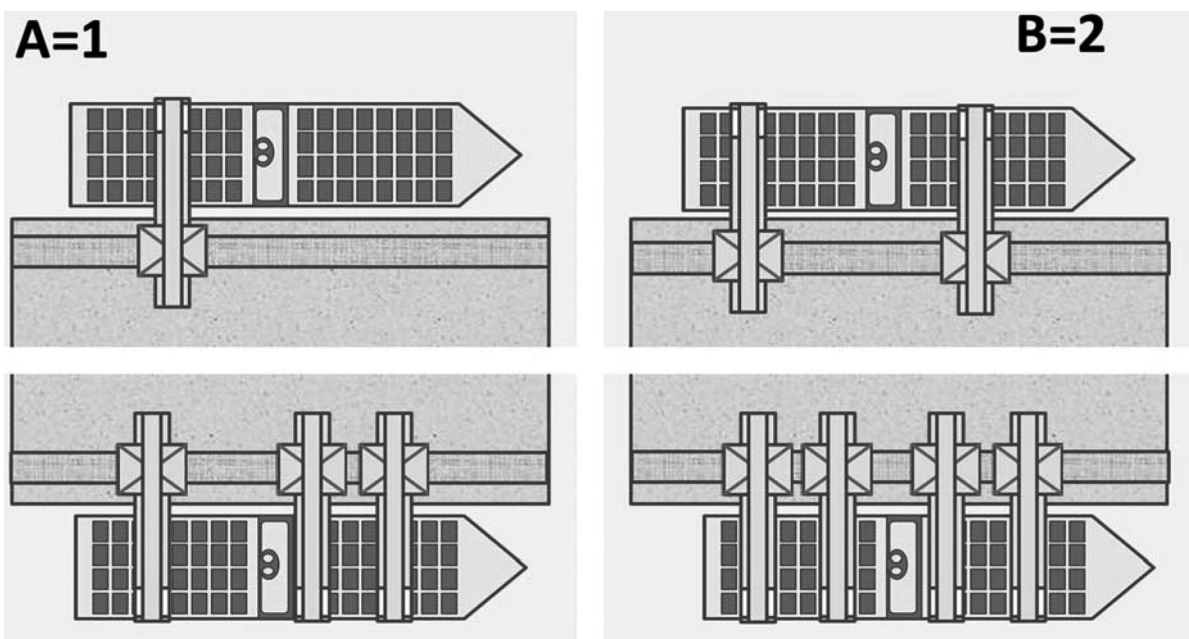
Wyniki wielowariantowych badań przedstawia tabela 3, a przebiegi zmienności wybranych współczynników operacyjnych ilustruje seria kolejnych wykresów 4.1–4.6.

Jak wynika z przeprowadzonych badań symulacyjnych (tab. 3) wielkości parametrów operacyjnych, takich jak: średnia liczba zgłoszeń w systemie, średnia liczba zgłoszeń w kolejce, średni czas oczekiwania w systemie, średni czas oczekiwania w kolejce oraz prawdopodobieństwa występowania n -zgłoszeń w systemie, bardzo silnie (wykładniczo) maleją w miarę zwiększania liczby stanowisk obsługowych. Szczególnie ostry gradient spadku ich wartości występuje przy pierwszym kroku, gdy liczbę stanowisk zwiększono z poziomu 1 do 2, czyli o 100%. Na dalszych etapach kolejne powiększanie liczby stanowisk obsługowych wpływa w sposób asymptotyczny na zmniejszanie się wartości tych charakterystyk. Wynika stąd wniosek, że racjonalne jest zwiększenie liczby stanowisk do poziomu 2, co skutkuje największymi korzyściami. Dalsze inwestowanie w powiększanie liczby stanowisk z punktu widzenia strategii systemu masowej obsługi jest coraz mniej efektywne (Burzyński, 1977).

Inaczej można interpretować te wyniki, biorąc pod uwagę specyfikę przeładunkową terminala kontene-

Rysunek 3

Zwiększanie liczby suwnic nabrzeżowych przy obsłudze kontenerowca w terminalu kontenerowym



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3

Wpływ liczby stanowisk obsługi (suwnic) na przykładowe wartości parametrów operacyjnych terminala kontenerowego

Liczba stanowisk	Intensywność ruchu	Średnia liczba zgłoszeń w systemie	Średnia liczba zgłoszeń w kolejce	Średni czas oczekiwania w systemie	Średni czas oczekiwania w kolejce	Prawdopodob. n -zgłoszeń w systemie
	PTC	L_S	L_k	T_S	T_k	P_n
1	0,7143	2,5000	1,7857	1,0000	0,8333	0,2041
2	0,3571	0,5556	0,1984	0,1429	0,0595	0,0820
3	0,2381	0,3125	0,0744	0,0769	0,0214	0,0103
4	0,1786	0,2174	0,0388	0,0526	0,0110	0,0008

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem pakietu MS EXCEL.

rowego, gdy najbardziej istotnym kryterium jest czas obsługi statku w porcie, czyli średni czas oczekiwania zgłoszenia (statku) w systemie i średni czas oczekiwania kontenera w kolejce. Ze względu na wysokie stawki opłat portowych i bezproduktywny postój kontenerowca w porcie armatorom zależy na szybkiej i sprawnej obsłudze, czyli minimalizowaniu czasu obsługi statku w danym porcie (Salomon, 2013). Ekonomiczne kryterium minimalnych kosztów, przy zachowaniu nadrzędnych wymagań w zakresie bezpieczeństwa, dominuje zarówno w strategii armatorskiej, jak też w polityce zarządu portu morskiego. Współczesne porty morskie konkurują na wymagających rynkach międzynarodowych przede wszystkim stawkami i taryfami portowymi oraz innymi usługami pomocniczymi.

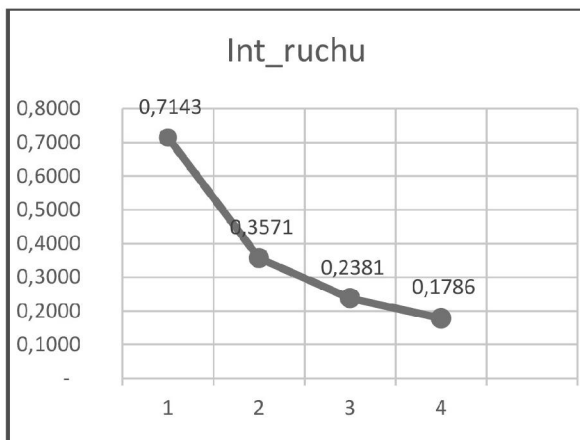
Uwagi i wnioski końcowe

Zaproponowany w pracy wielokanałowy (wielo-terminalowy) model morskiego portu handlowego okazał się w pełni przydatny do badań analitycznych za pomocą sformalizowanego aparatu teorii masowej obsługi. Z uwagi na ograniczoną objętość pracy w rozważaniach został zarysowany jedynie wielokanałowy system masowej obsługi, jakim jest każdy większy port morski. Spośród 6 wyodrębnionych w strukturze morskiego portu handlowego kanałów (terminali portowych) szczegółowe badania analityczne zostały ograniczone tylko do jednego kanału, jakim był terminal kontenerowy. W trakcie badań analitycznych przyjęto dość ostre założenia na jednorodność i koherentność stru-

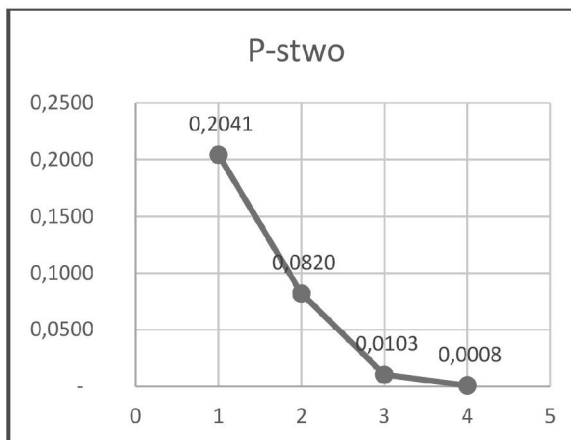
Rysunek 4

Graficzne zobrazowanie parametrów operacyjnych systemu masowej obsługi w funkcji zwiększającej się liczby stanowisk obsługi

Rysunek 4.1

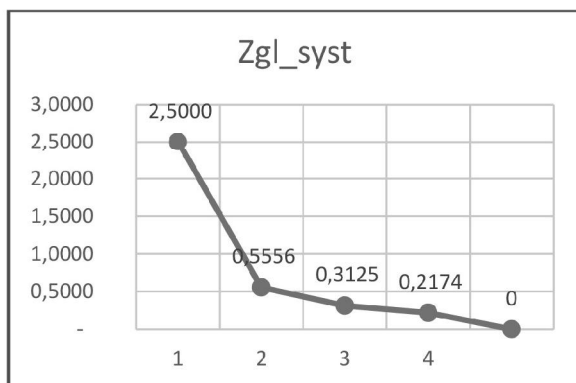


Rysunek 4.2



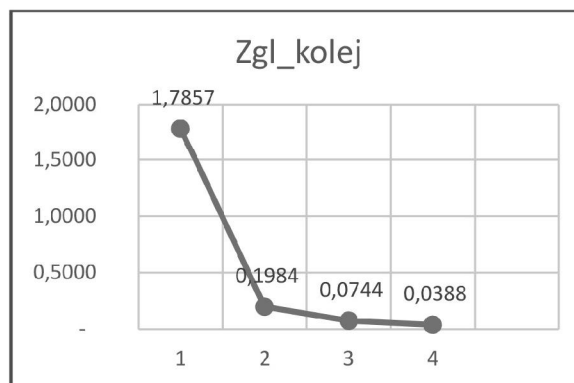
Rysunek 4.3

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu S}$$



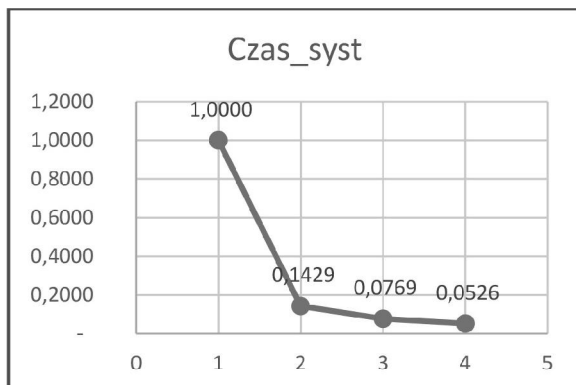
Rysunek 4.4

$$p_n = \rho^n (1 - \rho)$$



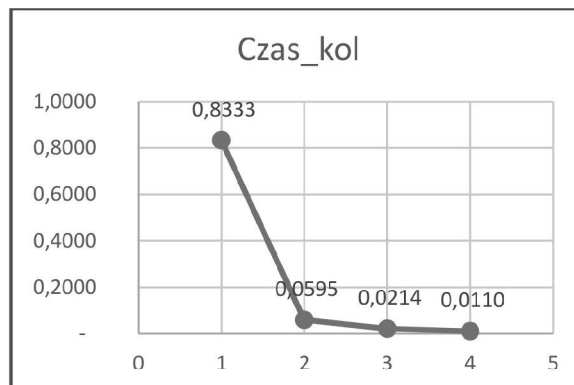
Rysunek 4.5

$$L_k = \frac{\rho}{1 - \rho}$$



Rysunek 4.6

$$L_k = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$



$$T_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$T_k = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem pakietu MS EXCEL.

mieni wejściowych, co uprościło tok i przejrzystość prowadzonych rozważań.

Analogiczne postępowanie można byłoby przeprowadzić w stosunku do 4 pozostałych terminali

portowych, jednak zgodnie z założeniami teorii masowej obsługi ich uogólnienie na szczeblu morskiego portu handlowego nie jest zwykłą superpozycją części składowych, ale wymaga zastosowania bardziej

złożonego aparatu matematycznego. Z uwagi na dużą złożoność obliczeniową badanie systemów wielokanałowych za pomocą teorii masowej obsługi wymaga z reguły posłużenia się specjalistycznymi aplikacjami komputerowymi. O wielkiej złożoności obliczeniowej teorii wielokanałowej decyduje rozbudowany aparat matematyczny tych modeli, bazujący na zaawansowanym rachunku prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej.

Wszystkie wyodrębnione w morskim porcie handlowym systemy obsługi (terminale portowe) mogą być opisane według jednolitej notacji teorii masowej obsługi za pomocą tzw. schematów Erlanga. Docelową strategią każdego systemu obsługi jest minimalizacja kolejki zgłoszeń oczekujących, np. w porcie na obsługę. Czas przebywania statku i towaru w porcie morskim jest zawsze krytycznym parametrem decyzyjnym, który znacząco rzutuje na saldo kosztów całej transakcji biznesowej. Szczególnie w portowych systemach obsługowych czas oczekiwania w kolejce

na obsługę portową jest dużym i bezproduktywnym obciążeniem dla armatora, a w konsekwencji dla rynkowego zleceniodawcy (załadowcy).

Minimalizacją wszelkich przestojuw w morskich transakcjach handlowych profesjonalnie zajmują się m.in. firmy spedycyjne, które programowo starają się redukować bezproduktywny czas oczekiwania statku i towaru na obsługę portową. Do efektywnego skracania kolejek w relacjach portowych został wykorzystany dorobek teoretyczny i aparat narzędziowy teorii masowej obsługi, a szczegółowy przykład został odniesiony do badania wybranego systemu roboczego morskiego portu handlowego, którym w tym przypadku był morski terminal kontenerowy.

Przeprowadzone badania analityczne potwierdziły pełną przydatność teorii masowej obsługi i jej metod narzędziowych do analizy i usprawnienia funkcjonowania morskiego portu handlowego rozpatrywanego jako wielokanałowy system masowej obsługi.

Bibliografia

- Bose, J.W. (2010), *Handbook of Terminal Planning*. Springer, Hamburg.
- Burzyński, J. (1977), *Teoria masowej obsługi*. Wydawnictwo AG-H, Kraków.
- Erlang, A.K. (1917), Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges. „Elektroniknikeren”, vol 13/1917.
- Ficoń, K. (2009), *Model optymalizacyjny sektora polskiej gospodarki morskiej*, Instytut Morski, Gdańsk 2009.
- Ficoń, K. (2010), Logistyczny model morskiego portu handlowego, *II Konferencja Naukowa Logistyka Morska „Log-Mare 2010”* Jurata, październik 2010 (CD).
- Ficoń, K. (2011), *Logistyka morska. Porty, statki, spedycja*. BEL Studio, Warszawa.
- Ficoń, K. (2012), *Statek towarowy jako mobilna platforma logistyczna transportu morskiego*. ZN WAT SLW nr 38/2012.
- Ficoń, K. (2016), *Modelowanie logistycznego łańcucha spedycji morskiej*. ZN WAT SLW nr 45/2016,
- Ficoń, K. (2017), *Zastosowanie teorii masowej obsługi do analizy systemu zabezpieczenia logistycznego sytuacji kryzysowych*. ZN WAT SLW nr 47/2017.
- Ficoń, K., Krasnodębski, G. (2016), Algorytm obsługi statku w porcie morskim na kierunku eksport/import. *Gospodarka Materialowa i Logistyka* nr 9/2016, (CD).
- Ficoń, K., Krasnodębski, G. (2017), Cała naprzód dla polskiego programu Port Community System. Konferencja Log-Mare Jastarnia 2017 *Gospodarka Magazynowa i Logistyka* nr 12/2017, (CD).
- Gniedenko, B., Kowalenko N. (1971), *Wstęp do teorii masowej obsługi*. PWN, Warszawa.
- Grzelakowski, A.S., Matczak M. (2006), *Ekonomika i zarządzanie przedsiębiorstwem portowym. Podstawowe zagadnienia*, Wydawnictwo AM, Gdynia.
- Koning, D., Stoyan, D. (1979), *Metody teorii masowej obsługi*. WN-T, Warszawa.
- Kopociński, B. (1977), *Zarys teorii odnowy i niezawodności*. PWN, Warszawa.
- Koźniewska, I., Włodarczyk M. (1978), *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*. PWN, Warszawa.
- Kozubski, J.J. (2000), *Wprowadzenie do badań operacyjnych*. Wydawnictwo UG, Gdańsk.
- Misztal, K., Szwanowski, S. (2001), *Organizacja i eksploatacja portów morskich*, Wyd. UG, Gdańsk.
- Neider, J. (2008), *Polskie porty morskie*, Wydawnictwo UG, Gdańsk.
- Obretenow, A., Dimitrow, B. (1989), *Teoria masowej obsługi. Poradnik*. PWN, Warszawa.
- Rozenberg, W., Prochorow, A. (1972), *Teoria masowej obsługi*. PWE, Warszawa.
- Salomon, A. (2013), *Organizacja i funkcjonowanie portowych terminali kontenerowych oraz perspektywy ich rozwoju*. ZN AM, Gdynia nr 82/2013.
- Szwanowski, S. (2000), *Funkcjonowanie i rozwój portów morskich*, Wydawnictwo UG, Gdańsk.
- Zitek, F. (1973), *Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej*. PWN, Warszawa.

Zapraszamy na naszą stronę internetową

www.gmil.pl

