

**ZASTOSOWANIE TEORII MASOWEJ OBSŁUGI DO ANALIZY SYSTEMU
ZABEZPIECZENIA LOGISTYCZNEGO SYTUACJI KRYZYSOWYCH
APPLICATION OF THE MASCULAR THEORY FOR ANALYZING OF THE
LOGISTIC SECURITY SYSTEM OF CRISIS SITUATION**

Krzysztof FICOŃ

krzysztof.ficon@wp.pl

Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich

Akademia Marynarki Wojennej

Streszczenie: W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania teorii masowej obsługi do badania i usprawnienia systemu zabezpieczenia logistycznego sytuacji kryzysowych w kontekście gorących potrzeb ludności poszkodowanej. Najważniejszym kryterium funkcjonowania takiego systemu jest prakseologiczny wymóg natychmiastowej obsługi zgłaszających się osób zgodnie z ich elementarnymi potrzebami. Praktycznie oznacza to postulat minimalizacji długości kolejki osób oczekujących na określone świadczenia (obsługę). W tym celu w modelowym systemie zostały wyodrębnione 4 dziedzinowe systemy robocze i nadrzędny system kierowania. Mechanizm funkcjonowania kryzysowego systemu masowej obsługi zilustrowano na przykładzie wybranego Systemu Ratownictwa Medycznego.

Summary: The paper presents the concept of the use of mass service theory to investigate and improve the logistic emergency response system in the context of the hot needs of the affected population. The most important criterion for the functioning of such a system is the praxeological requirement for the immediate handling of the respondents according to their basic needs. Practically, this means the postulate of minimizing queue length of people waiting for certain benefits (service). For this purpose, the four system work systems and the parent steering system were separated in the model system. The operation mechanism of the mass-service crisis system is illustrated by the example of the selected Medical Rescue System.

Słowa kluczowe: logistyka, system, sytuacja kryzysowa, masowa obsługa, długość kolejki, czas obsługi.

Keywords: logistics, system, crisis situation, mass service, queue length, service time.

WPROWADZENIE

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. Prakseologiczny aspekt teorii masowej obsługi akcentuje jej powszechne kojarzenie z teorią kolejek, która jest nieodłącznym elementem wszelkiej praktycznej działalności celowościowej. Powstanie teorii masowej obsługi wiąże się z badaniami nad losowymi procesami przepelnienia sieci telefonicznej prowadzonymi przez A.K. Erlanga (1917). Obecnie teoria ta aplikowana w postaci prakseologicznych systemów masowej obsługi ma szerokie zastosowania w codziennej działalności społecznej, gospodarczej, biznesowej, a także w nauce i technice. Ilustracją takich aplikacji są systemy kolejkowe optymalizowane za pomocą teorii masowej obsługi rozpatrywane w działalności handlowej, administracyjnej, biznesowej, a przede wszystkim w szerokiej strefie działalności usługowej (Gniedenko, Kowalenko, 1971).

Przykładowo za pomocą teorii masowej obsługi usprawnia się systemy kolejkowe występujące w służbie zdrowia, przed kasami sklepowymi czy biletowymi, na stacjach obsługi pojazdów, w różnych punktach serwisowych, a także w obszarze ruchu lotniczego, w żegludze morskiej, na bramkach autostradowych i inne. Szerokie zastosowanie znajduje ta teoria w technice, w tym w obsłudze masowego ruchu telefonicznego u operatorów telefonii komórkowej, w koordynacji procesów technologicznych na elastycznych liniach produkcyjnych, a także w sterowaniu systemami operacyjnymi współczesnych komputerów, w tym w zarządzaniu ruchem w sieci komputerowej Internet (Kozubski, 2000).

Z punktu widzenia naukowego zasadniczym celem teorii masowej obsługi jest określenie probabilistycznych 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 wiele innych (Burzyński, 1977). Celem użytkowym 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 kolejkowe – najczęściej natury społecznej, ekonomicznej czy formalnej. W szczególności 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 masowej obsługi (Kopociński, 1977).

Praktycznym przykładem ilustrującym tą tezę będzie System Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych, należący do kategorii systemów ratowniczo-ochronnych, w którym dominują procesy obsługi ludności w krytycznych warunkach sytuacyjnych, w czasie zarządzania kryzysowego. W sensie kryteriów obsługowych jest to system wielokanałowy, w którym wyodrębniono 4 systemy robocze: System Ratownictwa Medycznego, Transportowo-Ewakuacyjny, Wyżywienia Poszkodowanych i Zakwaterowania Ludności oraz nadrzędny System Kierowania (Ficoń, 2011). Każdy z wyodrębnionych systemów wchodzących w skład Systemu Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych został opisany w jednolitej konwencji obsługowej za pomocą tzw. schematów Erlanga. Krytycznym parametrem każdego systemu ratowniczo-ochronnego jest postulat minimalizacji kolejki w sensie liczby zgłoszeń oczekujących na obsługę i czasu obsługi (Zitek, 1973). W systemach ratowniczo-ochronnych średnia długość kolejki powinna być praktycznie

zerowa, co częściowo gwarantują losowe strumienie zgłoszeń i strumienie obsługi. Szczegółowy sposób wykorzystania teorii masowej obsługi do optymalizacji Systemu Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych pokazano na przykładzie Systemu Ratownictwa Medycznego dla którego wyznaczono standardowe charakterystyki obsługowe w funkcji rosnącej liczby stanowisk.

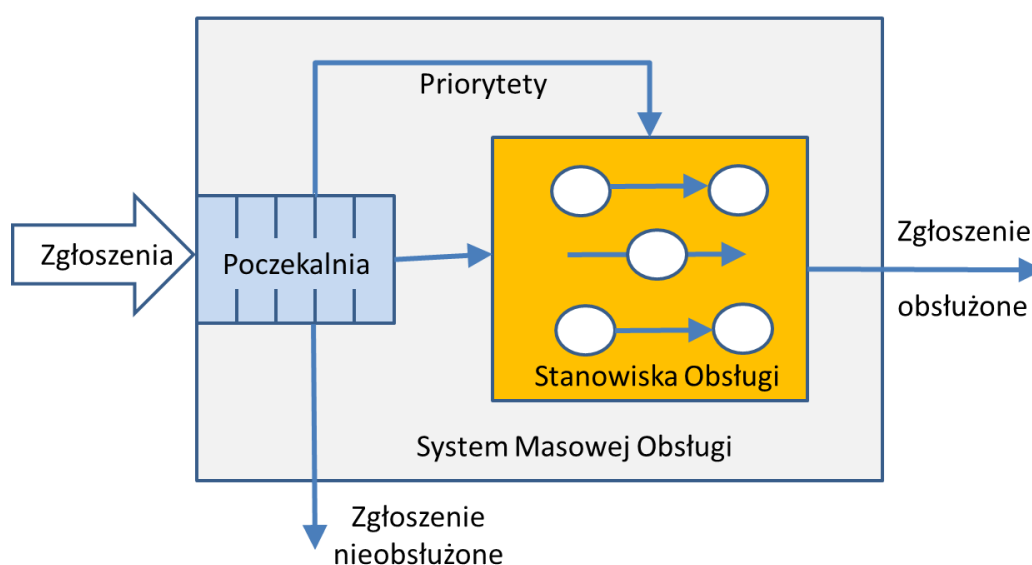
1. PODSTAWOWE POJĘCIA TEORII MASOWEJ OBSŁUGI

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 (Kopociński, 1977).

- Zgłoszenie – żądanie spełnienia 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 (Rys. 1). Według koncepcji holistycznej pod pojęciem 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 (Koźniewska, Włodarczyk, 1978). W aspekcie prakseologicznym 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 (Rozenberg, Prochorow, 1972).



Rys. 1. Model ideowy systemu masowej obsługi

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. Struktura systemu obsługi ze względu na sposób użytkowania stanowisk obsługi może być szeregową, równoległą lub mieszaną (Gniedenko, Kowalenko, 1971).

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. Przeciwnieństwem 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 którym nieobsłużone opuszczają system (Koźniewska, Włodarczyk, 1978).

2. ELEMENTY APARATU MATEMATYCZNEGO

Aby wstępnie scharakteryzować system masowej obsługi trzeba wyznaczyć trzy podstawowe parametry: intensywność strumienia zgłoszeń, intensywność procesu obsługi oraz regulamin kolejki (Burzyński, 1977).

Średnią intensywność strumienia zgłoszeń (λ) zdefiniujemy 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 (*First In First Out*) 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 $t \rightarrow \infty$ kolejka rośnie do nieskończoności, natomiast gdy $\rho < 1$ problem kolejki nie istnieje. Przypadek $\rho = 1$ przy powyższych założeniach jest mało

praktyczny i niestabilny. Parametr ρ pozwala wyprowadzić szereg użytecznych wzorów, jak np.:

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

$$L_k = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (4)$$

L_k – średnia liczba zgłoszeń oczekujących w kolejce na obsługę

$$L_s = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (5)$$

T_s – średni czas oczekiwania w systemie

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

T_k – średni czas oczekiwania w kolejce

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

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

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

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 (Rozenberg, Prochorow, 1972).

Z założenia wiadomo że natężenie strumienia zgłoszeń i intensywność procesu obsługi nie są to wielkości stałe i podlegają losowym wahaniom. Z tego powodu obsługa spływających zgłoszeń jest zakłócona i dlatego w przypadku najbardziej typowym, gdy intensywność zgłoszeń jest większa od intensywności obsługi w systemie tworzą się kolejki zgłoszeń czekających na obsługę. Sytuacja odwrotna, gdy intensywność obsługi jest większa od intensywności strumienia zgłoszeń też jest niekorzystna, albowiem system nie wykorzystuje

swoich mocy w sposób efektywny. Najbardziej korzystna jest sytuacja, gdy intensywność obu strumieni – zgłoszeń i obsługi w granicy jest zbieżna (ale nie identyczna) i do tego stanu w praktyce należy dążyć (Kopociński, 1977).

3. PROBLEMATYKA KOLEJEK W SYSTEMACH RATOWNICZO-OCHRONNYCH

Zaprezentowaną teorię masowej obsługi zastosujemy do badania i usprawnienia prakseologicznego Systemu Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych należącego do kategorii tzw. systemów „gorących”, które funkcjonują w krytycznych warunkach sytuacyjnych. Sytuacja kryzysowa jest zawsze stanem wyjątkowym i nierzadko krytycznym, w którym sprawność funkcjonowania organów kierowniczych i jednostek wykonawczych wystawiona jest na największą próbę i musi cechować się najwyższą skutecznością i niezawodnością działania (Nowak, 2013). Podstawowym kryterium oceny każdego systemu ratowniczo-ochronnego jest krytyczny czynnik czasowy, zwłaszcza w odniesieniu do bezpieczeństwa życia i zdrowia ludności poszkodowanej. Słynne „diamentowe minuty” i „złote godziny” w czasie których musi być udzielona pierwsza pomoc są dostatecznie wymownym potwierdzeniem rangi i znaczenia czynnika czasowego (Ficoń, 2011).

Z punktu widzenia teorii masowej obsługi wszelka zwłoka w udzieleniu natychmiastowej pomocy może być spowodowana m.in. beczynnym oczekiwaniem w kolejce na zwolnienie danego stanowiska obsługi, np. ratownika medycznego, lekarza, pielęgniarki, gabinetu zabiegowego, ambulansu ewakuacyjnego, a także miejsca tymczasowego zakwaterowania, czy dostaw najpilniejszych artykułów żywnościowych. Im dłuższe są kolejki w systemach ratowniczo-ochronnego tym gorsza jest jakość obsługi danego zgłoszenia, np. cierpiącego pacjenta, czy głodnego mieszkańca, albo pozbawionej dachu nad głową rodziny (Ficoń, 2017). 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).

Regulamin kolejki określa kolejność realizacji poszczególnych zgłoszeń i w praktyce występują cztery najbardziej typowe zasady obsługi zgłoszeń:

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

gdzie:

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

LIFO (Last In First Out) – zgłoszenia, które przybyły do systemu ostatnie zostaną obsłużone w pierwszej kolejności,

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

PR(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 tą regułę, a najczęściej odnosi się ona do dopuszczalnego czasu oczekiwania w kolejce lub do fizycznej długości kolejki.

Problem kolejek jest problemem bardzo istotnym i jednocześnie krytycznym w przypadku wszelkich systemów ratowniczo-ochronnych działających w czasie rzeczywistym. (Ficoń, 2011). Z przyczyn medycznych, moralnych i społecznych w kolejki tych systemach powinny być praktycznie zerowe, a czas oczekiwania na obsługę natychmiastowy. Niestety ze względów organizacyjno-technicznych, a także społeczno-ekonomicznych nie zawsze jest to możliwe. Docelową redukcję kolejki do poziomu zero ($T_k \rightarrow 0$) przy określonej intensywności strumienia zgłoszeń ($\lambda = const$) można uzyskać dwoma drogami, albo zmniejszając czas obsługi ($\mu \rightarrow min$), albo zwiększając liczbę stanowisk obsługi ($S \rightarrow max$):

$$(T_k \rightarrow 0 \parallel \lambda = const) \Leftrightarrow (\mu \rightarrow min) \wedge (S \rightarrow max) \quad (11)$$

Nadmierne zmniejszanie czasu obsługi może prowadzić w skrajnych sytuacjach do ograniczenia i zaniżenia standardów jakości świadczonej obsługi, co w przypadku systemów ratowniczych jest nie do przyjęcia. Z kolei zwiększanie liczby stanowisk obsługi pociąga dodatkowe koszty ekonomiczne ich wdrażania i użytkowania. Należy więc znaleźć kompromis między jakością a kosztami i wybrać wariant optymalny przy określonych ograniczeniach (Zitek,1973). W systemach ratowniczo-ochronnych kryterium nadrzędnym jest zawsze konieczność minimalizacji, w tym przypadku redukcji do zera wielkości kolejki, głównie w wymiarze czasowym. Jest to zasadniczy problem decyzyjny organów administracji publicznej odpowiedzialnych za skuteczne zarządzanie kryzysowe i wysokie bezpieczeństwo poszkodowanej ludności. W praktyce zarządzania kryzysowego stosuje się obie metody, jednak bardziej skuteczne i pragmatyczne jest zwiększanie liczby stanowisk.

4. KONCEPCJA SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LOGISTYCZNEGO SYTUACJI KRYZYSOWYCH

System Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych (SZL_{SK}) służy do zagwarantowania najpilniejszych potrzeb życiowych ludności poszkodowanej w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej i związanych z nią potrzeb logistycznych. System SZL_{SK} jest prakseologicznym systemem działania funkcjonującym w warunkach wysokiej gotowości operacyjnej i w najwyższym stopniu decyduje o bezpieczeństwie i zdrowiu oraz standardach życia ludności poszkodowanej w wyniku zaistniałej sytuacji kryzysowej. Podstawą funkcjonowania systemu SZL_{SK} są odpowiednie uregulowania formalno-prawne zobowiązujące organa administracji publicznej rządowej i samorządowej do sprawnego zorganizowania i użytkowania tego systemu na kolejnych szczeblach administracji publicznej – gminnym, powiatowym, wojewódzkim i rządowym (Ficoń, 2011).

Głównym zadaniem systemu SZL_{SK} jest bezpośrednie wsparcie ludności, która została dotknięta zdarzeniem kryzysowym niosącym niepożądane skutki i następstwa w newralgicznych dziedzinach życia osobistego, społecznego, gospodarczego. System ten powinien świadczyć natychmiastową i wszechstronną pomoc w pierwszej kolejności dla poszkodowanej ludności, a w dalszych etapach usuwać negatywne skutki w obszarze tzw. infrastruktury krytycznej rejonu oraz w jego zasobach przyrodniczych. Do realizacji tych celów system SZL_{SK} posiada stosowną strukturę organizacyjno-funkcjonalną, właściwe uкомплекowanie kadrowe i odpowiednie wyposażenie techniczne (Nowak, 2013).

Biorąc pod uwagę najpilniejsze potrzeby ludności poszkodowanej w sytuacji kryzysowej w modelowej strukturze prakseologicznego systemu SZL_{SK} można wyróżnić nadrzędny system kierowania i cztery systemy robocze (Rys. 2):

$$SZL_{SK} = \{SK, SR, ST, SW, SZ\} \quad (12)$$

gdzie:

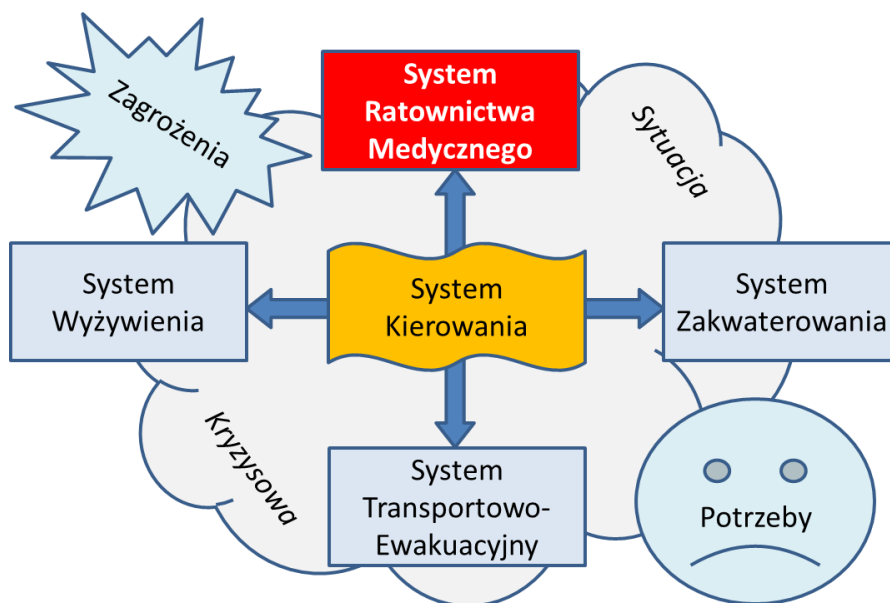
SK – system kierowania zabezpieczeniem logistycznym,

SR – system ratownictwa medycznego,

ST – system transportu zaopatrzeniowego i ewakuacji ludności,

SW – system wyżywienia ludności poszkodowanej,

SZ – system zakwaterowania ludności poszkodowanej.



Rys. 2. Struktura Systemu Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych

Każdy z powyższych systemów roboczych, a także nadrzędny system kierowania 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 (potrzeby) w strumienie wyjściowe (świadczenia). Tak zarysowana struktura systemowa wykonuje określone zadania, w tym przypadku świadczy usługi na rzecz ludności poszkodowanej.

System SZL_{SK} funkcjonuje w szczególnych warunkach wywołanych gwałtownym, najczęściej losowym i trudno przewidywalnym obniżeniem lub nawet załamaniem dotychczasowych standardów życia ludności w danym rejonie. Na jego wejściu pojawia się z reguły losowo strumień życiowych, często egzystencjalnych potrzeb ludności poszkodowanej, który wymaga natychmiastowej obsługi przez profesjonalne organa kierownicze i odpowiednie jednostki wykonawcze. W sytuacji kryzysowej większość zgłaszanych potrzeb na rzecz poszkodowanej ludności ma status wysokiej pilności i wymaga bardzo szybkiej reakcji ze strony organów kierowniczych dysponujących odpowiednimi siłami i środkami natychmiastowego wsparcia. Spektrum potrzeb, np. logistycznych ludności w sytuacji kryzysowej jest najczęściej bardzo obszerne i zależy bezpośrednio od liczby poszkodowanej ludności oraz od skali zniszczeń i stopnia zagrożeń, będących skutkiem zaistniałej sytuacji kryzysowej. Dlatego spełnienie tych potrzeb wymaga ustalenia odpowiedniej kolejności ich realizacji, gdyż możliwości wykonawcze każdego systemu SZL_{SK} są zawsze ograniczone.

Wejściowy strumień zgłoszeń związanych z zaistniałą sytuacją kryzysową wpływających do systemu SZL_{SK} dzieli się na cztery strumienie rodzajowe dotyczące – ratownictwa medycznego i pomocy medycznej, świadczeń transportowo-ewakuacyjnych, dostaw środków żywnościowych oraz potrzeb w zakresie tymczasowego zakwaterowania ludności poszkodowanej (Rys. 3). Każdy z tych strumieni rodzajowych ma określony priorytet wynikający z rangi i pilności świadczenia określonych usług na rzecz poszkodowanej ludności. Stosownie do tych kryteriów zgłaszane strumienie potrzeb są odpowiednio klasyfikowane, celem ich natychmiastowego spełnienia zgodnie z ustalonym systemem priorytetów (Ficoń, 2011). Najwyższy priorytet ze względu na zagrożenie ludzkiego życia i zdrowia mają zawsze potrzeby ratowniczo-medyczne, które świadczone są przez specjalistyczne ekipy ratownictwa medycznego, a w dalszej kolejności na wyższych szczeblach ewakuacji medycznej przez specjalistyczne placówki służby zdrowia (Ficoń, 2007).

Wejściowy strumień zgłoszeń do systemu SZL_{SK} dzieli się formalnie na pięć strumieni dziedzinowych:

$$\lambda = \{\lambda_{SK}, \lambda_{SR}, \lambda_{ST}, \lambda_{SW}, \lambda_{SZ}\} \quad (13)$$

gdzie:

λ – średnia intensywność strumienia zgłoszeń w systemie SZL_{SK} ,

$\lambda_{(.)}$ – średnia intensywność strumienia zgłoszeń w (.) systemie.

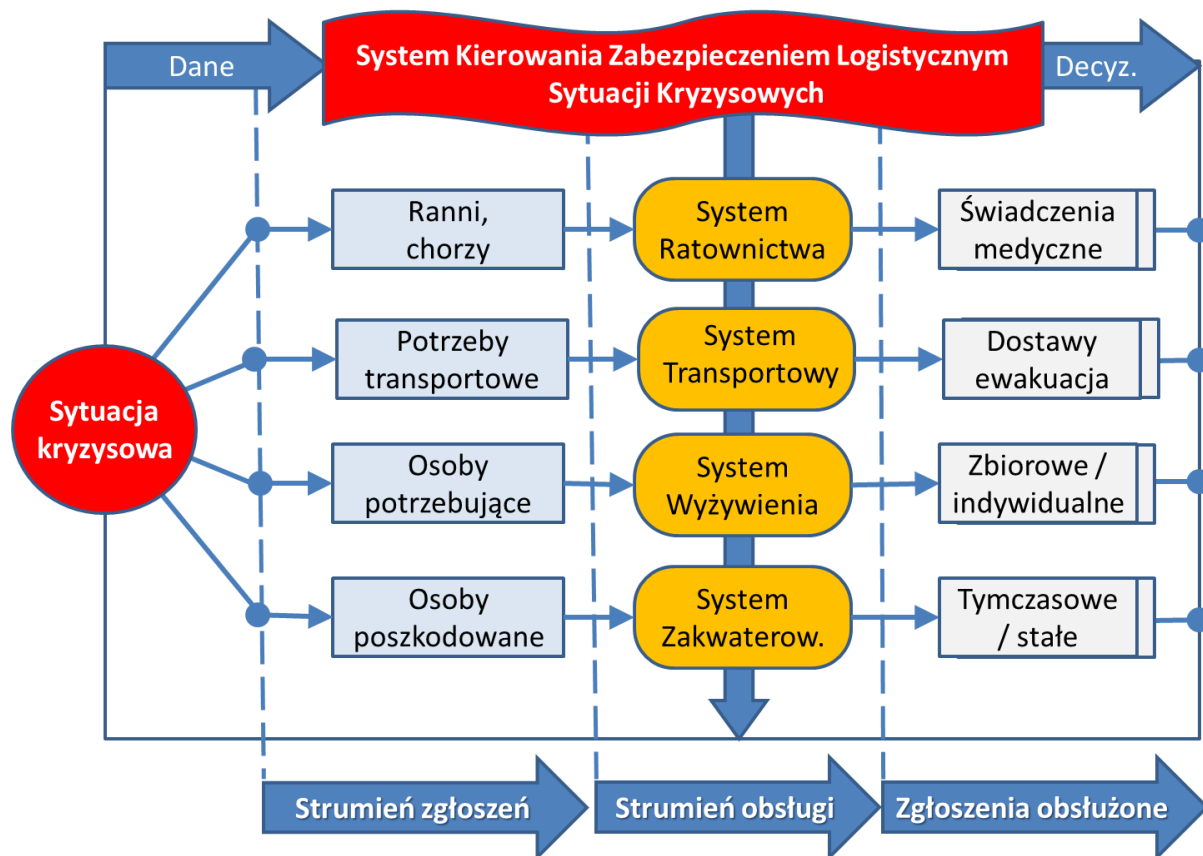
Podobnie wyjściowy strumień świadczeń (produktywności) systemu SZL_{SK} reprezentuje pięć kategorii dziedzinowych:

$$\mu = \{\mu_{SK}, \mu_{SR}, \mu_{ST}, \mu_{SW}, \mu_{SZ}\} \quad (14)$$

gdzie:

μ – średnia intensywność strumienia obsługi w systemie SZL_{SK} ,

$\mu_{(.)}$ – średnia intensywność strumienia obsługi w (.) systemie.



Rys. 3. Struktura organizacyjno-funkcjonalna Systemu Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych

Każdy z wyodrębnionych systemów składowych może pracować w oparciu o różną liczbę stanowisk obsługowych:

$$S = \{S_{SK}, S_{SR}, S_{ST}, S_{SW}, S_{SZ}\} \quad (15)$$

gdzie:

S – średnia liczba stanowisk obsługi w systemie SZL_{SK} ,

$S_{(.)}$ – liczba stanowisk obsługi w (.) systemie.

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

$$\rho = \{\rho_{SK}, \rho_{SR}, \rho_{ST}, \rho_{SW}, \rho_{SZ}\} \quad (16)$$

gdzie:

ρ – średnia dynamika ruchu w systemie SZL_{SK}

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu S} - \text{średnia dynamika ruchu w systemie } SZL_{SK},$$

$$\rho_{SK} = \frac{\lambda_{SK}}{\mu_{SK} S_{SK}} - \text{średnia dynamika ruchu w Systemie Kierowania},$$

$$\rho_{SR} = \frac{\lambda_{SR}}{\mu_{SR} S_{SR}} - \text{średnia dynamika ruchu w Systemie Ratownictwa},$$

$$\rho_{ST} = \frac{\lambda_{ST}}{\mu_{ST} S_{ST}} - \text{średnia dynamika ruchu w Systemie Transportowym},$$

$$\rho_{SW} = \frac{\lambda_{SW}}{\mu_{SW} S_{SW}} - \text{średnia dynamika ruchu w Systemie Wyżywienia},$$

$$\rho_{SZ} = \frac{\lambda_{SZ}}{\mu_{SZ} S_{SZ}} - \text{średnia dynamika ruchu w Systemie Zakwaterowania}.$$

Tabela 1. Zbiorecze zestawienie charakterystyk obsługowych systemów składowych





Nazwa systemu	Strumień zgłoszeń	Strumień obsługi	Liczba stanowisk	Dynamika ruchu
System Kierowania	λ_{SK}	μ_{SK}	S_{SK}	ρ_{SK}
System Ratownictwa	λ_{SR}	μ_{SR}	S_{SR}	ρ_{SR}
System Transportowy	λ_{ST}	μ_{ST}	S_{ST}	ρ_{ST}
System Wyżywienia	λ_{SW}	μ_{SW}	S_{SW}	ρ_{SW}
System Zakwaterowania	λ_{SZ}	μ_{SZ}	S_{SZ}	ρ_{SZ}
System SZL_{SK}	λ	μ	S	ρ

5. ZADANIA, STRUKTURA I STRUMIENIE WEJŚCIA/WYJŚCIA SYSTEMÓW ROBOCZYCH

Wyjątkową rolę w całym systemie SZL_{SK} pełni **System Kierowania**, który pracuje na bazie strumieni informacyjnych, jako nadrzędny system decyzyjny w stosunku do pozostałych systemów roboczych. System kierowania reprezentują organa administracji publicznej odpowiedzialne za sprawne zarządzanie w zaistniałej sytuacji kryzysowej w kontekście szeroko rozumianego bezpieczeństwa ludności dotkniętej zdarzeniem kryzysowym. Formalną podstawą funkcjonowania systemu kierowania są obowiązujące uregulowania prawne nakładające określone obowiązki na terenowe organa administracji publicznej. Natomiast podstawą merytoryczną pracy operacyjnej tego systemu są meldunkowe strumienie informacji wejściowej zawierające aktualny obraz sytuacyjny oraz najpilniejsze potrzeby ludności poszkodowanej. Na wyjściu tego systemu występują strumienie informacyjno-decyzyjne w postaci decyzji do działania poszczególnych systemów roboczych (Ficoń, 2007). Systemowe stanowiska obsługi reprezentują obsady etatowe wyodrębnionych funkcji służbowych realizujące odpowiednie czynności analityczno-planistyczne z zakresu zarządzania kryzysowego. Jakość podejmowanych decyzji przez system kierowania rzutuje znacząco na

sprawność i efektywność działania całego systemu zabezpieczenia logistycznego, a tym samym na bezpieczeństwo ludności objętej zdarzeniem kryzysowym.

Tabela 2. Struktura strumieni wejścia/wyjścia systemów składowych

Symbol	System	Strumień wejściowy	Stanowiska obsługi	Strumień wyjściowy
				
SK	System Kierowania	Meldunki sytuacyjne	Personel kierowniczy	Decyzje, polecenia
SR	System Ratownictwa	Osoby ranne, chore	Ratownicy medyczni	Osoby opatrzone
ST	System Transportowy	Potrzeby transportowe	Środki transportowe	Ludzie, materiały
SW	System Wyżywienia	Ludność poszkodowana	Catering, stołówki	Ludność wyżywiona
SZ	System Zakwaterowania	Ludność poszkodowana	Miejsca schronienia	Ludność zakwaterowana

Świadczeniem priorytetowych usług ratowniczych i udzielaniem pierwszej pomocy medycznej zajmuje się **System Ratownictwa Medycznego**, który formalnie podlega pod rejonowe organa służby zdrowia. Strumieniem wejściowym do tego systemu są zgłaszane przez poszkodowaną ludność potrzeby w zakresie ratownictwa medycznego i pomocy medycznej, których priorytety pilności ustalają organa służby zdrowia. Intensywność tego strumienia nie jest stała i będzie maleć wraz z upływającym czasem i postępującą stabilizacją sytuacji kryzysowej. Stanowiska obsługi to przede wszystkim ekipy ratownictwa medycznego i doraźnie organizowane zespoły pierwszej pomocy medycznej. Sprawne funkcjonowanie systemu ratownictwa medycznego musi dodatkowo spełniać wysokie standardy bezpieczeństwa medycznego oraz szereg uwarunkowań zdrowotnych. Normalizacja i stabilizacja sytuacji kryzysowej skutkuje ewakuacją medyczną osób poszkodowanych na wyższe szczeble profesjonalnej opieki medycznej, która odbywa się za pomocą specjalistycznych środków transportu medycznego. System ratownictwa medycznego jest systemem w dużym stopniu autonomicznym dysponującym wszystkimi niezbędnymi zasobami i posługuje się specjalistyczną technologią służby zdrowia. W żadnym przypadku nie podlega on pod organa logistyczne, a jedynie w zależności od potrzeb może korzystać ze wsparcia wykonawczych systemów logistycznych, głównie w zakresie transportu ewakuacyjnego. System ratownictwa medycznego w zasadzie korzysta z autonomicznych środków transportu medycznego (karetki, ambulanse, sanitarki), a jedynie w wyjątkowych sytuacjach wykorzystuje

inne środki transportu osobowego. Jako jedyny system ten dysponuje środkami transportu lotniczego – śmigłowcami ratownictwa medycznego. Działalność systemu ratownictwa i pomocy medycznej ma charakter tymczasowy i w miarę normalizowania się sytuacji medycznej w rejonie dotkniętym kryzysem niektóre jego funkcje są stopniowo ograniczane i przenoszone na stacjonarne placówki służby zdrowia.

Wysoką gotowość operacyjną i sprawność procesów zabezpieczenia materiałowego gwarantuje przede wszystkim **System Transportowo-Ewakuacyjny** dysponujący określoną liczbą środków transportowych, które są wykorzystywane przez wszystkie pozostałe systemy robocze. System transportowo-ewakuacyjny wykonuje dwa podstawowe rodzaje zadań związanych z procesami przemieszczania ludności poszkodowanej oraz dostawami różnych dóbr materialnych, głównie środków żywnościowych i materiałów ogólnego użytku. Strumieniem wejściowym do tego systemu są w ogólności potrzeby transportowe ludności poszkodowanej, a jego intensywność jest losowa i bardzo zmienna, bez wyraźnych trendów. W praktyce zarządzania kryzysowego świadczy on usługi transportowe na rzecz pozostałych systemów wykonawczych. Stanowiskami obsługi w tym systemie to dostępne środki transportowe, głównie samochodowe wykorzystywane do przemieszczania ludzi i transportu materiałów zaopatrzeniowych. Od mobilności i dyspozycyjności tego systemu w najwyższym stopniu zależą procesy przemieszczania ludności oraz procesy zaopatrzenia materiałowego potrzeb ludności poszkodowanej. System ten świadczy usługi transportowe na rzecz pozostałych systemów wykonawczych, głównie za pomocą taboru samochodowego. Transport i przemieszczanie ludności poszkodowanej musi odbywać się wyłącznie za pomocą specjalistycznych środków transportu osobowego, natomiast do realizacji dostaw materiałowych wykorzystuje się ogólnodostępne środki transportu towarowego. Funkcjonowaniem systemu transportowo-ewakuacyjnego zarządzają centralnie organa kierownicze, które odpowiadają za koordynację i optymalizację wykorzystania środków transportowych dla potrzeb zaistniałej sytuacji kryzysowej.

System Wyżywienia Poszkodowanych zajmuje się organizacją i realizacją procesów żywienia ludności poszkodowanej najczęściej w bezpiecznym miejscu, w pewnym sąsiedztwie od jądra sytuacji kryzysowej. Usługi żywieniowe dla ludności poszkodowanej mogą być świadczone w trybie indywidualnym – w początkowej fazie sytuacji kryzysowej lub w trybie zbiorowym – w miarę stabilizowania się sytuacji kryzysowej. Strumieniem wejściowym do tego systemu są biologiczne potrzeby ludności w zakresie spożycia środków żywnościowych, które ogólnie dzielą się na potrzeby w zakresie wody pitnej i pozostałe środki żywnościowe. Intensywność strumienia potrzeb może zmieniać się wraz ze zmianą sytuacji kryzysowej i

liczbą osób zgłaszających się o pomoc. Stanowiska obsługi reprezentowane są przez indywidualne punkty żywienia lub zbiorowe stołówki zorganizowane w odpowiednich pomieszczeniach. Do funkcjonowania tych stanowisk niezbędne są systematyczne dostawy wody i pozostałych środków żywnościowych, a w przypadku żywienia zbiorowego odpowiedni personel kuchenny. W przypadku sytuacji kryzysowych o ograniczonych następstwach i skutkach negatywnych, przy niewielkiej liczbie osób poszkodowanych ich wyżywienie odbywa się z wykorzystaniem specjalistycznych usług i firm cateringowych, które reprezentować będą odpowiednie stanowiska obsługi. Sprawne funkcjonowanie systemu wyżywienia musi dodatkowo spełniać wysokie standardy bezpieczeństwa żywności oraz szereg uwarunkowań sanitarno-higienicznych. Organizacja i codzienne funkcjonowanie tego systemu ściśle wiąże się z zakwaterowaniem i organizacją tymczasowego miejsca schronienia dla osób poszkodowanych, gdyż magazyny żywności i polowe stołówki są lokowane na terenie lub w pobliżu miejsc tymczasowego zakwaterowania.

System Zakwaterowania Ludności zajmuje się udzielaniem chwilowego schronienia dla osób poszkodowanych, w trybie całodobowym i w pełnym zakresie polowych standardów mieszkaniowych. W zależności od skali zniszczeń dotychczasowych lokali mieszkalnych zachodzi konieczność zakwaterowania poszkodowanej ludności w miejscach tymczasowego schronienia. Zakwaterowanie może odbywać się w polowych miejscach zakwaterowania (pola namiotowe, domki campingowe) lub w obiektach stałych (obiekty użyteczności publicznej lub obiekty komercyjne) – zawsze jednak ma charakter tymczasowy. Polowe warunki zakwaterowania mają liczne ograniczenia – klimatyczne, terytorialne, czasowe, społeczne, rodzinne itp. dlatego mogą być stosowane sporadycznie i przejściowo tylko w krótkim okresie czasu. Strumieniem wejściowym do systemu zakwaterowania jest miejscowa ludność, która z różnych względów nie może wrócić do swoich domostw. W sensie kryteriów społecznych jest to strumień niejednorodny obejmujący kobiety i mężczyzn, dzieci i osoby dorosłe, rodziny i osoby samotne dlatego przy zakwaterowaniu obowiązuje generalna zasada nie wolno rozdzielać rodzin, a tym bardziej matek od dzieci. Intensywność tego strumienia może zmieniać się wraz ze zmianą sytuacji kryzysowej i jej aktualnymi skutkami. Stanowiska obsługi to odpowiednio przygotowane miejsca schronienia i przysłowiowy dach nad głową. Zgodnie z obowiązującymi uregulowaniami prawnymi każda rodzina ma prawo do własnej przestrzeni życiowej, na miarę możliwości danego systemu zarządzania kryzysowego. Symbolicznym stanowiskiem obsługi jest tutaj zagwarantowane miejsce do spania i minimalny metraż na własny użytek. Potrzeby w zakresie zakwaterowania są wprost proporcjonalne do liczby osób,

które utraciły dach nad głową i muszą być bezwzględnie spełnione. Obowiązek ten na mocy prawa spada na terenowy organ administracji publicznej.

We wszystkich systemach roboczych z punktu widzenia praktyki zarządzania kryzysowego kolejka osób (zgłoszeń) oczekujących w systemie na spełnienie określonych potrzeb – medycznych, transportowych, żywnościowych czy kwaterunkowych praktycznie nie powinna istnieć. Jedynie sporadycznie mogą pojawić się zgłoszenia, które będą obsłużone w realnym czasie działania tego systemu, np. w przeciągu kilku minut, czy godzin. Z perspektywy teorii masowej obsługi jest to typowa tzw. „gorąca” kolejka zgłoszeń krytycznych oczekujących na bezwzględną obsługę. Formalnie zgłoszenia, które pojawiły się w tej kolejce pozostaną w niej tak długo dopóki nie zostaną obsłużone. Jest to więc system obsługi bez strat (Kopociński, 1977). W praktyce zarządzania kryzysowego mogą zdarzać się przypadki, że niektóre zgłoszenia (osoby) w trakcie oczekiwania w kolejce znajdą inne indywidualne rozwiązanie swojego problemu, np. natychmiastowa pomoc rodziny, albo innej organizacji społecznej czy komercyjnej, wówczas opuszczają poczekalnię jako zgłoszenia quasiobsłużone.

6. BADANIE SYSTEMU RATOWNICTWA MEDYCZNEGO ZA POMOCĄ TEORII MASOWEJ OBSŁUGI

Każdy z powyższych systemów roboczych, a także System Kierowania może być przeanalizowany za pomocą aparatu matematycznego teorii masowej obsługi. Do badań aplikacyjnych został przykładowo wybrany System Ratownictwa Medycznego, który został opisany za pomocą modelu typu M/M/1 z użyciem następujących charakterystyk obsługowych:

- Intensywność strumienia zgłoszeń: $\lambda_{SR} = \frac{1 \text{ godz}}{12} = 5$
- Intensywność strumienia obsługi: $\mu_{SR} = \frac{1 \text{ godz}}{10} = 6$
- Liczba stanowisk obsługi: $S_{SR} = 1$

Na podstawie modelowych danych wejściowych $\langle \lambda_{SR}, \mu_{SR}, S_{SR} \rangle$ zostały wyznaczone następujące charakterystyki obsługowe systemu:

- Współczynnik ruchu: $\rho_{SR} = \frac{5}{6} = 0,833$
- Średni czas oczekiwania w kolejce: $T_k = 0,833$
- Średnia długość kolejki: $L_k = 4,1667$
- Średnia liczba zgłoszeń w systemie: $L_s = 5,000$

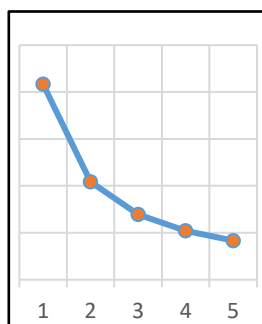
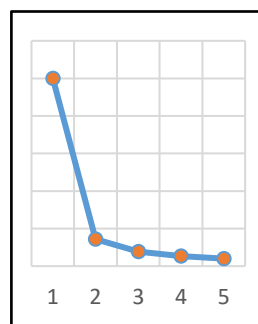
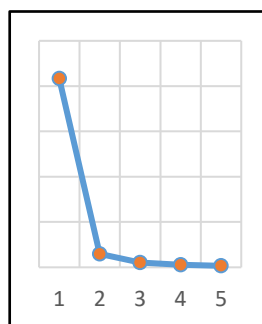
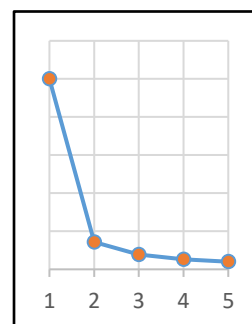
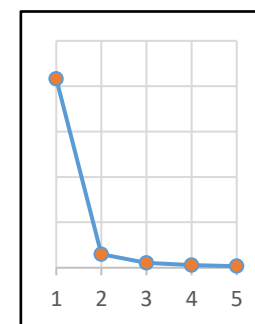
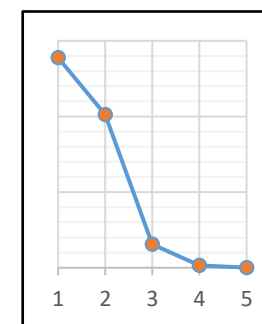
Aby zademonstrować w jaki sposób liczba stanowisk obsługi wpływa na kształtowanie się podstawowych charakterystyk obsługowych Systemu Ratownictwa Medycznego

przeprowadzono serię badań analitycznych, polegających na zwiększaniu liczby stanowisk obsługowych przy zachowaniu wszystkich pozostałych parametrów na dotychczasowym poziomie. Wyniki badań przedstawia tabela 3, a przebiegi zmienności wybranych współczynników operacyjnych ilustrują wykresy pod tabelą 3.

Jak wynika z wyznaczonych w tabeli 3 wielkości takich parametrów jak: średnia liczba zgłoszeń w systemie (L_s), średnia liczba zgłoszeń w kolejce (L_k), średni czas oczekiwania w systemie (T_s), średni czas oczekiwania w kolejce (T_k) oraz prawdopodobieństwa występowania n -zgłoszeń w systemie (p_n) wszystkie te parametry bardzo silnie 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 badawczych 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 – przy założonych charakterystykach $\lambda_{SR} = 5$ i $\mu_{SR} = 6$ systemu masowej obsługi jest coraz mniej efektywne. Ze względu na losowy charakter strumienia zgłoszeń (λ_{SR}) i strumienia obsługi (μ_{SR}) wszystkie uzyskane wyniki mają cechy zmiennych statystycznych, ale uśrednione wnioski płynące z badań mogą znaleźć pełne zastosowanie praktyczne.

Tabela 3. Wpływ liczby stanowisk obsługi na przykładowe wartości parametrów operacyjnych
Systemu Ratownictwa Medycznego

Liczba stanowisk obsługi	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
S	ρ_{SR}	L_s	L_k	T_s	T_k	p_n
1	0,8333	5,0000	4,1667	1,0000	0,8333	0,1389
2	0,4167	0,7143	0,2976	0,1429	0,0595	0,1013
3	0,2778	0,3846	0,1068	0,0769	0,0214	0,0155
4	0,2083	0,2632	0,0548	0,0526	0,0110	0,0015
5	0,1667	0,2000	0,0333	0,0400	0,0067	0,0001

 ρ_{SR}  L_s  L_k  T_s  T_k  p_n

WNIOSKI KOŃCOWE

Teoria masowej obsługi powinna być szczególnie intensywnie wykorzystywana w tzw. systemach gorących, np. ratowniczo-ochronnych, gdzie długość kolejki zgłoszeń (osób poszkodowanych) oczekujących na obsługę jest parametrem krytycznym, wymagającym najwyższej troski ze strony organów odpowiedzialnych, w tym przypadku za zarządzanie kryzysowe. Aby skutecznie zredukować długość tej kolejki przy znanej statystycznie intensywności strumienia zgłoszeń należy albo zwiększyć intensywność strumienia obsługi na odpowiednich stanowiskach obsługi, albo zwiększyć ich liczbę. Pierwszy postulat może skutkować obniżeniem standardów obsługi, co w sytuacji kryzysowej jest niedopuszczalne, natomiast spełnienie drugiego wariantu wymaga dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Jak wynika z przeprowadzonych badań zwiększenie liczby stanowisk jest działaniem racjonalnym i bardzo efektywnym oraz wysoce wskazanym ze względów moralno-etycznych w każdej sytuacji kryzysowej.

Praktyczne funkcjonowanie sformalizowanego aparatu matematycznego teorii masowej obsługi zilustrowano na prostym przykładzie wybranego Systemu Ratownictwa Medycznego, będącego jednym z pięciu podsystemów (kanałów) modelowego System Zabezpieczenia Logistycznego Sytuacji Kryzysowych. Kompleksowe badanie wielokanałowych systemów masowej obsługi jest procesem bardzo złożonym i wymaga, po pierwsze, ścisłego opisu formalnego relacji organizacyjno-funkcjonalnych zachodzących między poszczególnymi podsystemami (kanałami), a po drugie, posługiwania się bardziej złożonym i zaawansowanym aparatem matematycznym, wykorzystującym np. teorię procesów semimarkowskich (Koning, Stoyan, 1979).

Skuteczne zabezpieczenie potrzeb logistycznych ludności poszkodowanej w sytuacji kryzysowej jest statutowym obowiązkiem organów administracji publicznej – rządowych i samorządowych. W każdej takiej sytuacji kryzysowej najbardziej krytycznym parametrem jest właśnie efektywny czas obsługi – wykonywania wymaganych świadczeń na danym stanowisku obsługi. Drugim niezwykle ważnym wymogiem zabezpieczenia logistycznego sytuacji kryzysowych jest postulat udzielenia odpowiedniej pomocy wszystkim poszkodowanym, co na gruncie teorii masowej obsługi oznacza konieczność obsłużenia wszystkich zgłoszeń wpływających do tego systemu – przy maksymalnie ograniczonej długości kolejki. Aby sprawnie obsłużyć strumień zgłoszeń kierowanych do systemu zabezpieczenia logistycznego sytuacji kryzysowej należy odpowiednio szybko zbudować wydajny system obsługi minimalizujący przede wszystkim krytyczną długość kolejki osób poszkodowanych oczekujących na realną pomoc ze strony tego systemu. Na gruncie zarządzania kryzysowego

istnieje więc pilna potrzeba zbudowania nowoczesnych aplikacji do analizy wielokanałowych systemów masowej obsługi, co wymaga opracowania odpowiednio zaawansowanych modeli szeroko korzystających ze wsparcia technologii komputerowej.

LITERATURA

1. Burzyński J. (1977), *Teoria masowej obsługi*. Wyd. AG-H Kraków.
2. Erlang A.K. (1917), *Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges*. „Elektroteknikerer”, vol 13/1917.
3. Ficoń K. (2007), *Inżynieria zarządzania kryzysowego. Podejście systemowe*. BEL Studio Warszawa.
4. Ficoń K. (2011), *Logistyka kryzysowa. Procedury, potrzeby, potencjał*. BEL Studio Warszawa.
5. Ficoń K. (2017), *Trzydzieści wykładów z logistyki*. BEL Studio Warszawa.
6. Gniedenko B., Kowalenko N. (1971), *Wstęp do teorii masowej obsługi*. PWN Warszawa.
7. Koning D., Stoyan D. (1979), *Metody teorii masowej obsługi*. WN-T Warszawa.
8. Kopociński B. (1977), *Zarys teorii odnowy i niezawodności*. PWN, Warszawa 1973.
9. Kozubski J.J. (2000), *Wprowadzenie do badań operacyjnych*. Wyd. UG Gdańsk.
10. Koźniewska I., Włodarczyk M. (1978), *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*. PWN Warszawa.
11. Nowak E. (2013), *Zarządzanie logistyczne w sytuacjach kryzysowych*. AON Warszawa.
12. Obretenow A. Dimitrow B. (1989), *Teoria masowej obsługi. Poradnik*. PWN Warszawa.
13. Rozenberg W., Prochorow A. (1972), *Teoria masowej obsługi*. PWE Warszawa.
14. Zitek F. (1973), *Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej*. PWN Warszawa.

..