

MODELE TEORII OBSŁUGI MASOWEJ W OCENIE WPŁYWU PRZEŁADUNKÓW MATERIAŁÓW NIEBEZPIECZNYCH NA PRACĘ TERMINALU KONTENEROWEGO

Terminal kontenerowy stanowi przykład systemu transportowego realizującego obsługę kontenerów z ładunkami niebezpiecznymi, które dostarczane są przez środki transportu lądowego i morskiego. Celem badań takiego systemu transportowego jest określenie zachodzących w nim procesów.

Słowa kluczowe: terminal kontenerowy, ładunki niebezpieczne, teoria obsługi masowej.

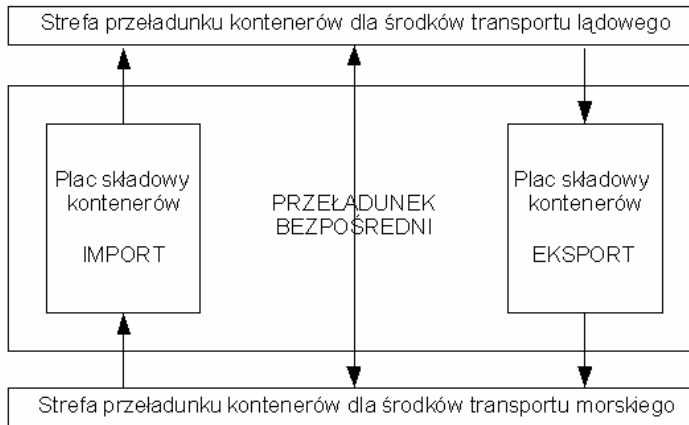
WSTĘP

Terminal kontenerowy ze względu na prowadzone operacje ładunkowe z udziałem środków transportu i urządzeń przeładunkowych został podzielony na kilka głównych części, do których zalicza się (rys. 1):

- strefę przeładunku dla środków transportu drogowego i kolejowego, gdzie odbywa się odbiór kontenerów dostarczanych przez środki transportu lądowego,
- strefę składowania kontenerów w terminalu, której istnienie gwarantuje terminalowi kontenerowemu elastyczność przy planowaniu obsługi kontenerów,
- strefę przeładunku kontenerów dla statków morskich i barek śródlądowych, zaprojektowaną tak, aby zapewniać serwis dla różnych rozmiarów jednostek pływających.

Terminal kontenerowy tak jak każdy inny system transportowy składa się z kilku elementów powiązanych ze sobą, takich jak:

- infrastruktura – drogi wewnątrz terminalu, nabrzeża, place przeładunkowe;
- tabor, czyli środki transportu i urządzenia przeładunkowe;
- zasoby ludzkie, operatorzy urządzeń, kierowcy, osoby planujące i organizujące pracę terminalu.



Rys. 1. Główne części terminalu kontenerowego i kierunki przepływu jednostek kontenerowych [1, 6]

Fig. 1. The main part of the container terminal and flow directions container units [1, 6]

1. SKŁADOWE SYSTEMU TRANSPORTOWEGO TERMINALU KONTENEROWEGO

W jednym z podstawowych elementów systemu transportowego, jakim jest tabor, można wydzielić dwa podstawowe składniki, pełniące określone funkcje: środki transportu wewnętrznego oraz magazyny. Środki transportu wewnętrznego realizują transport wewnątrz terminalu oraz przemieszczają jednostki kontenerowe (CTU) w pionie, przy realizacji przeładunków na placu składowym oraz podczas załadunku i wyładunku ich ze statku.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi te środki są:

- czas obsługi, wynikający z prędkości przemieszczania się środka transportu wewnętrznego lub czas trwania operacji podnoszenia i opuszczania kontenera przez urządzenia przeładunkowe;
- pojemność/zdolność przewozowa.

Do magazynów zalicza się wszystkie place składowe, środki transportu wewnętrznego: statki morskie, składy kolejowe oraz środki transportu drogowego. Wszystkie ww. środki transportu i place składowe charakteryzuje wspólna właściwość – zdolność do składowania/magazynowania jednorazowo pewnej liczby kontenerów, która waha się od kilku TEU dla środków transportu drogowego, przez kilkadziesiąt dla transportu kolejowego, po kilka tysięcy dla statków i placów składowych. Różni je natomiast możliwość wspólnego składowania czy też magazynowania:

- wielu kontenerów o różnych wymiarach;
- różnych typów kontenerów;
- kontenerów o różnej zawartości ładunkowej;

- kontenerów zawierających ładunki nietypowe i ładunki niebezpieczne, itp. [5, 7].

Wśród najważniejszych parametrów operacyjnych, charakteryzujących elementy składowe systemu transportowego, można wymienić:

- pojemność lub zdolność przewozową środków transportu i placów składowych, którą można wyrażać w liczbie jednostek TEU;
- wydajność urządzeń przeładunkowych, która wyraża się w liczbie obsługiwanych TEU (lub zgłoszeń) na jednostkę czasu;
- prędkość postępową środków transportu podczas przemieszczania się w terminalu mierzoną w km/h;
- wysokość piętrzenia, zasięg, udźwig urządzeń przeładunkowych itp. – długość, szerokość i liczbę warstw w blokach składowania.

2. MODELE OBSŁUGI CTU W TERMINALU KONTENEROWYM

Realizowany model obsługi kontenera z ładunkiem niebezpiecznym (ang. *Dangerous Goods*) w terminalu jest ściśle związany z jego klasą niebezpieczeństwa oraz ze środkiem transportu zewnętrznego, jakim został dostarczony do systemu transportowego. Jednostka kontenerowa (CTU) zawierająca materiały niebezpieczne jest traktowana jako zgłoszenie do takiego systemu transportowego.

Wśród wszystkich możliwych modeli obsługi zgłoszeń (CTU), realizowanych w terminalu kontenerowym, można wyróżnić następujące rodzaje:

- przeładunek bezpośredni – z pominięciem placu składowego;
- przeładunek pośredni – ze składowaniem CTU na placu składowym;
- przeładunek pośredni awaryjny – z koniecznością przemieszczenia i składowania CTU na awaryjnym placu składowania.

2.1. Model obsługi bezpośredniej

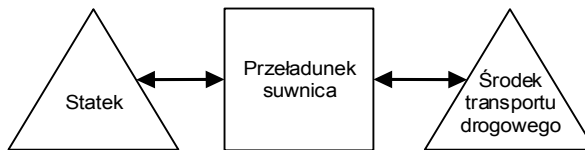
Przeładunek bezpośredni jest najprostszym z możliwych modeli obsługi zgłoszeń w terminalu kontenerowym. Według tego modelu CTU z ładunkiem niebezpiecznym jest przeładowywana bezpośrednio z jednego środka transportu zewnętrznego na drugi, np. w relacji bezpośredniej statek – środek transportu drogowego lub odwrotnie. Ten model obsługi stosuje się do CTU zawierających ładunki niebezpieczne HRDG, których składowanie na placu składowym w terminalu kontenerowym jest zabronione.

Wchodzące do systemu transportowego zgłoszenie, zawierające tego typu ładunek, jest przeważnie realizowane w pierwszej kolejności (obsługa z priorytetem) lub w porządku naturalnym FIFO (ang. *First In First Out*), o ile pozwala na to rozmieszczenie kontenerów z innymi ładunkami niebezpiecznymi na statku.

Na kierunku import statek kontenerowy dostarcza do terminalu CTU, wyładowywane ze statku przy użyciu suwnic bramowych bezpośrednio na środki transportu drogowego, które po umieszczeniu jednostki kontenerowej na naczepie samochodowej i odpowiednim jej zamocowaniu opuszczają terminal kontenerowy. Przeważnie kolejność wyładunku kontenerów ze statku w porcie wyładunkowym wynika z kolejności, w jakiej zostały one wcześniej załadowane na statek w portach załadunkowych.

W kierunku odwrotnym – eksporcie – środki transportu drogowego dostarczają kontener z ładunkiem niebezpiecznym do terminalu. Jego przybycie do terminalu poprzedzone jest dokładną informacją dotyczącą czasu dostawy. Po wjeździe samochodu z naczepą przez bramę wjazdową przemieszcza się on pod wskazaną suwnicę bramową, która podejmuje i przemieszcza kontener na statek, umieszczając go w określonej pozycji. Transport wewnątrz terminalu i przeładunek bezpośredni kontenera zawierającego HRDG (ang. *High Risk Dangerous Goods*) odbywa się zawsze z zachowaniem szczególnych środków ostrożności.

Rysunek 2 prezentuje model obsługi bezpośredniej w obu kierunkach przepływu zgłoszeń.



Rys. 2. Przeładunek bezpośredni CTU w relacji statek – środek transportu drogowego i odwrotnie [7]

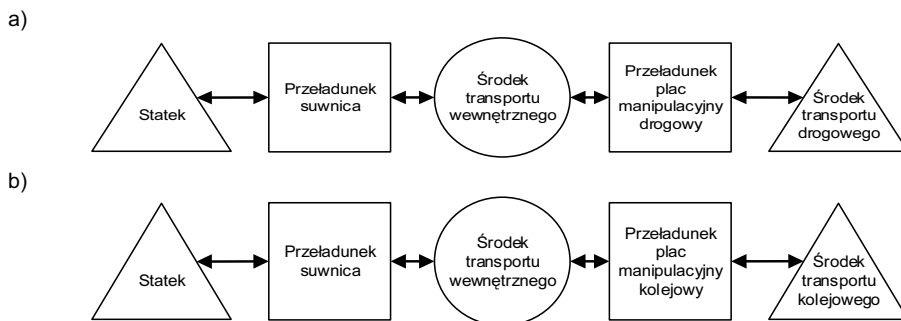
Fig. 2. *Transshipment direct CTU ship – road transport and vice versa [7]*

Innym modelem obsługi bezpośredniej jest model, który obejmuje dodatkowo przemieszczenie kontenera wewnątrz terminalu kontenerowego na środkach transportu wewnętrznego terminalu, które łączą strefy przeładunku dla transportu kolejowego i morskiego.

Ładunki szczególnie niebezpieczne HRDG zawsze wymagają zastosowania modelu obsługi bezpośredniej, pozostałe ładunki niebezpieczne DG mogą być również w ten sposób obsługiwane, o ile dopełniono dla nich wszystkich czynności celno-prawnych.

CTU po wyładunku ze statku przy użyciu suwnic bramowych są przeładowywane na środki transportu wewnętrznego i przemieszczane do stref przeładunku na inne środki transportu, gdzie następują kolejne ich przeładunki na środki transportu drogowego lub kolejowego.

Jak przedstawiono na rysunku 3a i b, podczas tego modelu obsługi wykonywana jest dwukrotna operacja przeładunku kontenera pomiędzy środkami transportu.



Rys. 3. Przeładunek bezpośredni CTU z wykorzystaniem środka transportu wewnętrznego: a) w relacji statek – środek transportu drogowego, b) w relacji statek – środek transportu kolejowego [7]

Fig. 3. Handling direct CTU using internal transport: a) in relation ship – means of transport by road, b) in relation ship – means of transport by rail [7]

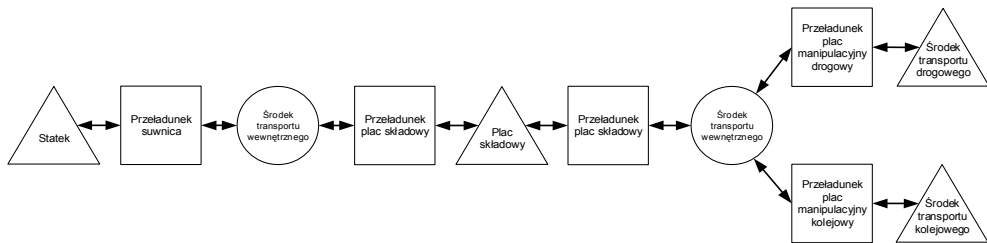
2.2. Model obsługi pośredniej ładunków niebezpiecznych

Jest to przeładunek pośredni CTU dotyczący pozostałych klas DG, których składowanie na terenie portów nie jest zabronione. Kontenery po wyładunku ze statku suwnicą przemieszczane są przy użyciu środków transportu wewnętrznego na wcześniej wyznaczone dla nich miejsca złożenia na placu składowym. Liczba jednorazowo dostarczonych przez statek zgłoszeń jest stosunkowo duża w porównaniu z środkami transportu lądowego, dlatego w chwili przybycia statku do portu większość środków transportu wewnętrznego kierowana jest w pierwszej kolejności do obsługi statku i transportu kontenerów pomiędzy placem a statkiem. CTU, które docierają do terminala kontenerowego za pośrednictwem lądowych środków transportu, po ich obsłudze w strefach przeładunku trafiają na plac składowy. Natężenie ruchu środków transportu wewnętrznego przy obsłudze środków transportu lądowego w strefach przeładunku jest dużo mniejsze w porównaniu z obsługą statków kontenerowych.

Nowym, dodatkowo pojawiającym się w przeładunku pośrednim elementem jest plac składowy. Do momentu wejścia CTU na plac składowy jego obsługa jest realizowana, tak jak w przypadku obsługi bezpośredniej, z pominięciem niektórych procedur i działań towarzyszących ładunkom HRDG. Zmianę, jaką powoduje wprowadzenie placu składowego do obsługi CTU, stanowi przede wszystkim wydłużenie czasu obsługi kontenerów, o czas trwania procesu składowania. Plac składowy terminalu kontenerowego ze względu na kierunek przemieszczanych w nim zgłoszeń został podzielony na dwie główne części:

- sektory składowania przeznaczone dla kontenerów w imporcie;
- sektory składowania przeznaczone dla kontenerów w eksporcie.

Sposób przydzielania miejsc na placu składowym dla kontenerów spowodowany jest specyfiką ich dalszej obsługi. W obu częściach placu składowego dalsza obsługa kontenera uzależniona jest od chwili zgłoszenia gotowości przez środki transportu zewnętrznego do odbioru tego kontenera (rys. 4).

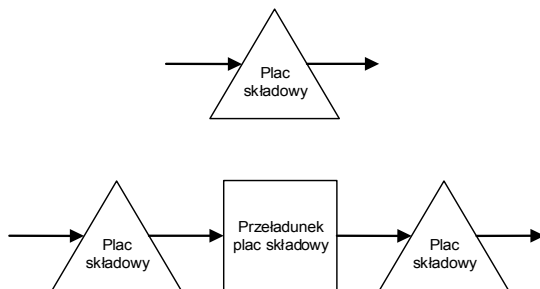


Rys. 4. Przeładunek pośredni CTU z ładunkiem niebezpiecznym w kierunku import i eksport [7]

Fig. 4. Handling indirect CTU dangerous material in the direction of import and export [7]

Przy zdolności przewozowej statków kontenerowych, dochodzącej do kilkunastu tysięcy TEU, warunkiem koniecznym jest wcześniejsze grupowanie i składowanie w odpowiedniej kolejności w jednym lub kilku sektorach placu składowego kontenerów w eksporcie, przeznaczonych do załadunku na statek. Takie działanie pozwala uniknąć kilkukrotnej zmiany miejsca składowania kontenerów w eksporcie na placu, podczas oczekiwania ich na przybycie statku. Zanim jednak rozpocznie się załadunek statku kontenerami, które przygotował terminal, statek musi w porcie wyładunkowym pewną część CTU wyładować, zwalniając tym samym miejsce dla tych jednostek, które są przygotowane przez terminal do załadunku w eksporcie.

Kontenery pochodzące z importu, po wyładunku ze statku trafiają na plac składowy i tam są składowane aż do chwili ich odbioru przez lądowe środki transportu zewnętrznego. Lądowe środki transportu ze względu na ograniczoną pojemność przewozową odbierają kontenery pojedynczo lub grupowo po kilka TEU. Jednak kolejność odbioru kontenerów pochodzących z importu jest inna niż ta, w jakiej zostały one wyładowane ze statku i złożone na placu składowym. Czas, jaki CTU przebywa na placu składowym, jest zmienną losową, zależną od kilku czynników, takich jak kierunek wejścia zgłoszenia, klasa DG, rodzaj środka transportu, którym jest podejmowana z terminalu, czy dzień tygodnia (rys. 5). Ze względu na losowy charakter wznowienia dalszej obsługi zgłoszeń, na tej części placu składowego, gdzie trafiają CTU wyładowane ze statku (w imporcie), obserwuje się większą rotację ich miejsc.



Rys. 5. Składowanie CTU i operacje ładunkowe na placu składowym [7]

Fig. 5. Storage CTU and cargo operations at the storage yard [7]

Dodatkowe zmiany miejsca na placu wydłużają ich model obsługi o dodatkowe czynności, tym samym stwarzając możliwości wystąpienia uszkodzeń podczas zmian położenia kontenera na placu składowym. Uszkodzone CTU, zawierające DG, kierowane są na awaryjny plac składowy, który jest elementem kolejnego modelu obsługi zgłoszeń.

2.3. Model obsługi awaryjnej ładunków niebezpiecznych

Ten typ obsługi spowodowany jest powstaniem awarii CTU z ładunkiem niebezpiecznym w terminalu kontenerowym, polegającej na:

- uszkodzeniu CTU;
- uszkodzeniu jej zawartości;
- uszkodzeniu środka transportu, na którym CTU jest przewożona.

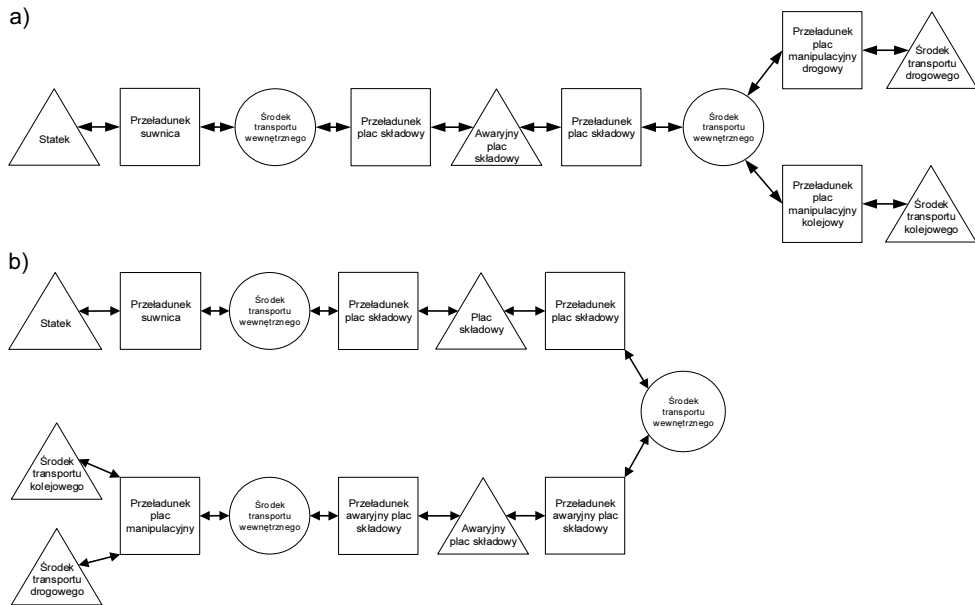
W zależności od tego co, stanowi przedmiot awarii, oraz jaką klasę DG zawierał kontener, wdrażane są odpowiednie procedury awaryjnej obsługi takiej jednostki. W przypadku obsługi ładunków klas HRDG w ramach przeładunku bezpośredniego towarzyszą jej szczególne środki ostrożności w całym terminalu. Kontener, który uległ awarii, zawsze trafia na miejsce obsługi awaryjnej w celu przeładunku zawartości, zmiany opakowania wewnętrznego lub zamiany CTU. Działania podejmowane podczas awaryjnej obsługi polegają na ograniczeniu zagrożenia, spowodowanego awarią, oraz minimalizacji czasu funkcjonowania terminalu w takim stanie (rys. 6).

Kontenery, które uległy awarii znacznie wcześniej i dotarły już w stanie uszkodzonym do terminalu, są obsługiwane w taki sam sposób jak te, których awaria miała miejsce w terminalu kontenerowym. Po usunięciu awarii kierowane są do dalszej obsługi zgodnie z obowiązującym je regulaminem obsługi.

Podobnie jak na placu składowym we wcześniej opisanym modelu obsługi przeładunku pośredniego, czas przebywania na awaryjnym placu składowania jest zmienną losową, a jego wartość zależy od:

- klasy ładunku niebezpiecznego;
- jego ilości;

- formy jego opakowania;
- dostępności odpowiedniego typu CTU itp.



Rys. 6. Model obsługi awaryjnej CTU: a) w trakcie transportu wewnątrz terminalu, b) podczas składowania na placu składowym terminalu [7]

Fig. 6. Model and emergency operation CTU: a) during transport within the terminal, b) during storage at the terminal storage yard [7]

Budowa terminalu kontenerowego i organizacja jego pracy powinny zapewnić sprawną obsługę CTU z ładunkami niebezpiecznymi, obejmującą takie procesy jak:

- przeładunek;
- transport;
- składowanie.

Obserwując organizację pracy terminalu kontenerowego (rys. 7), można zauważyć, że większość podejmowanych działań wymuszają procesy losowe, do których terminal kontenerowy musi tak dostosować organizację pracy, aby spełnić swoją podstawową rolę i realizować sprawną obsługę kontenerów, każdorazowo odpowiadając na losowość zdarzeń.

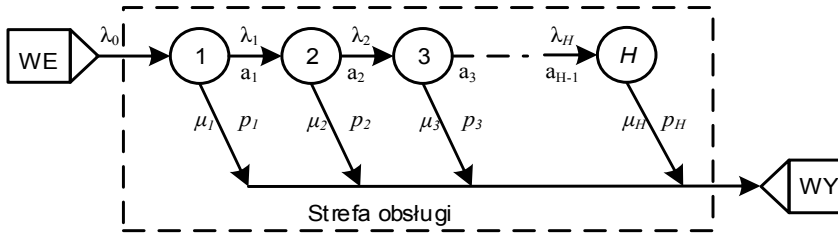
Przystępując do badań modelowych tak działającego systemu transportowego z zastosowaniem teorii masowej obsługi należy określić jego podstawowe parametry, takie jak:

- wymiarowość źródła zgłoszeń – źródło zgłoszeń do tego systemu transportowego będzie charakteryzowane przez nieskończoną liczbę zgłoszeń, docierających z dwóch różnych kierunków: import i eksport;
- rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej A , opisującej odstępy czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami – zgłoszenia do tego systemu napływają zgodnie z rozkładem wykładniczym;
- liczbę stanowisk obsługi i ich organizację – proste SMO, jedno- lub wielokanałowe, zależne i niezależne, połączone ze sobą szeregowo lub równolegle, w zależności od rodzaju realizowanej obsługi;
- regulamin kolejki – przeważnie FIFO, gdy nie ma w systemie zgłoszeń o wyższym priorytecie;
- regulamin obsługi – przeładunek bezpośredni, pośredni wraz ze składowaniem, i awaryjny, w zależności od klasy zgłoszenia;
- rozkłady prawdopodobieństw zmiennych losowych B_i , opisujących czasy obsługi, w każdym z $i = 1, 2, \dots, n$ stanowisk obsługi – deterministyczny, wykładniczy, losowy, losowy z oscylacjami w zależności od stanowisk obsługi;
- wielkość poczekalni – dla kolejek w systemie – pojemność kolejek ograniczona, dla placu składowego zakładać można nieograniczone możliwości składowania zgłoszeń;
- system jest bez strat, każde nadchodzące zgłoszenie zostanie poddane obsłudze.

Teoria kolejek, obejmująca zagadnienia systemów i sieci kolejkowych, może być z powodzeniem stosowana do modelowania wielu systemów obsługi i opracowania metod, pozwalających na całkowitą charakterystykę procesu obsługi [2]. Pozwala bowiem przygotować optymalne decyzje dotyczące struktury i organizacji obsługi z punktu widzenia klienta i operatora zarządzającego tym systemem [3, 4].

3. SYSTEM MASOWEJ OBSŁUGI ZE STREFĄ OBSŁUGI

W skali makro terminal kontenerowy można przedstawić jako system masowej obsługi (SMO) ze strefą obsługi, gdzie kolejne zgłoszenia w zależności od typu modelu obsługi są w nim obsługiwane. Wspomniany system składa się z kilku faz H , tworząc strefę obsługi (rys. 8). Zakłada się, że tylko jedna z faz może być zajęta przez zgłoszenie, stąd tylko jedno zgłoszenie może znajdować się w strefie obsługi. Nadchodzące do systemu zgłoszenie wybiera jedną z faz obsługi z określonym prawdopodobieństwem. Zgłoszenie może opuścić SMO po obsłudze na h -tej fazie, z prawdopodobieństwem p_l lub kontynuować obsługę w następnej fazie z prawdopodobieństwem a_h . Jeśli do określenia wskaźnika wykorzystania systemu użyje się rozkładu Coxa, składającego się z H faz, to system charakteryzowany jest wykładniczym czasem obsługi na każdej z faz oraz intensywnością obsługi μ_h .



Rys. 8. SMO ze strefą obsługi (opracowanie własne na podstawie [6])

Fig. 8. SMO service zone [6]

Ten typ SMO doskonale nadaje się do wyznaczenia intensywności przepływu zgłoszeń w terminalu ze względu na rodzaj stosowanego modelu obsługi zgłoszeń. Z modelowania tego SMO uzyskuje się dane, dotyczące liczby CTU obsługiwanych w sposób bezpośredni, pośredni oraz tych zgłoszeń, które przechodzić będą przez plac awaryjny.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania narzędzi teorii obsługi masowej do modelowania eksploatacji terminalu kontenerowego.

Opracowany z wykorzystaniem metod teorii obsługi masowej model eksploatacyjny terminalu kontenerowego pozwala na określenie wpływu na bezpieczeństwo operacyjne:

- struktury operacyjnej i organizacji pracy;
- sposobu składowania ładunków niebezpiecznych na placu składowym;
- parametrów statystycznych strumienia zgłoszeń (natężenie i struktura rodzajowa).

Wymaga to zastosowania różnych typów systemów masowej obsługi, najlepiej charakteryzujących urządzenia i środki transportu, będące węzłami sieci kolejkowej dla terminalu kontenerowego. Wykorzystanie systemów Coxa do modelowania wybranych węzłów sieci transportowej dla tegoż terminalu pozwala na pełniejsze uwzględnienie istniejącej charakterystyki pracy urządzeń przy zmiennych wartościach intensywności strumienia i obsługi oraz specyfiki obsługi kontenerów z ładunkami niebezpiecznymi.

Wyznaczone na podstawie danych empirycznych rozkłady strumienia zgłoszeń i czasu ich obsługi wraz z przedstawionymi w pracy modelami pozwolą na określenia wskaźników charakteryzujących pracę terminalu kontenerowego, takich jak:

- prawdopodobieństwo, że system nie obsługuje żadnego zgłoszenia;
- prawdopodobieństwo, że w systemie obsługiwane jest co najmniej jedno zgłoszenie;

- prawdopodobieństwo, że czas obsługi zgłoszenia przekroczył dopuszczalny limit;
- średni czas obsługi zgłoszenia;
- średnia liczba zgłoszeń (CTU z ładunkiem niebezpiecznym) w systemie.

LITERATURA

1. *Container Terminal Parameters*, The Cornell Group, Inc., Maine, 2007.
2. Filipowicz B., Kwiecień J., *Queueing systems and networks. Models and applications*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 2008, Vol. 56, No. 4, p. 379–390.
3. Jaiswal N.K., *Priority Queues*, Academic Press, New York 1968.
4. König D., Stoyan D., *Metody teorii obsługi masowej*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.
5. RID *Reglement concernant le transport Internationale ferroviaire des marchandises Dangereuses*.
6. Steenken D., Voss S., Stahlbock R., *Container terminal operation and operations research – a classification and literature review*, OR Spectrum Springer, 2004.
7. Wilczyński P., *Modelowanie wpływu transportu kontenerów z ładunkami niebezpiecznymi na bezpieczeństwo operacyjne portowej sieci transportowej*, rozprawa doktorska.

QUEUING MODELS IN ASSESSING THE IMPACT OF DANGEROUS GOODS ON TRANSHIPMENT WORK OF CONTAINER TERMINAL

Summary

Container terminal is an example of transport system, which provide the proper service of the containers containing dangerous goods. Dangerous goods are supplied to this terminal by different means of transport. The aim of examination this terminal is determination of process.

Keywords: *container terminal, dangerous goods, queuing theory.*