

Jacek BOROWIAK¹
Ireneusz JĘDRA²
Łukasz PACYNA³

SYMULACJA PROCESÓW LOGISTYCZNYCH W CENTRUM LOGISTYCZNYM

W artykule przedstawiono propozycję wykorzystania algorytmu symulacji statystycznej jako narzędzia wspomagającego proces organizacji systemu, np. wyznaczenia liczby wózków widłowych obsługujących dostawy/wydania z magazynu centrum logistycznego. Wykorzystując aktualne dane statystyczne w postaci np.: liczby i wielkości zgłoszeń, czasów między zgłoszeniami, czasów obsługi w danym okresie czasu, można prześledzić wiele wariantów realizacji działań logistycznych, uzyskując wynik dostosowany do potrzeb danego systemu logistycznego.

SIMULATION OF LOGISTIC PROCESSES IN THE LOGISTICS CENTER

The article presents the proposal to use statistical simulation algorithm as a tool for aiding the process of organization of the system, for example, determine the number of forklift trucks serving the delivery / removal from storage logistics center. Using current statistics such as: the number and size of notifications, the time between notifications, service times in a given period of time, many options for implementation of logistics operations can be traced, obtaining results tailored to the needs of the logistics system.

1. WSTĘP

Każdy prawidłowo funkcjonujący system transportowy, magazynowy i dystrybucyjny uzależniony jest od właściwego zorganizowania systemu logistycznego.

W procesie logistycznym, który jest świadomym połączeniem pracy, przedmiotów pracy i środków pracy w celu osiągnięcia zamierzonego efektu [3], bardzo ważnym składnikiem oprócz wykwalifikowanej kadry, są środki transportowe bliskiego i dalekiego

¹ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 45.
tel. +48 48 361-76-29, e-mail: jacek.borowiak@pr.radom.pl

² Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 45.
tel. +48 48 361-76-29, e-mail: ireneusz.jedra@pr.radom.pl

³ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 45.
tel. +48 48 361-76-29, e-mail: lukasz.pacyna@pr.radom.pl

zasięgu, maszyny i urządzenia zapewniające mechaniczne wykonawstwo robót ładunkowych oraz sprawna obsługa środków przewozowych współpracujących gałęzi transportu różnego rodzaju. Jednym ze sposobów usprawniających proces dystrybucji towaru od dostawcy poprzez pośredników, aż do właściwego odbiorcy, jest skrócenie czasu obsługi zgłoszenia poprzez dobór właściwej liczby środków transportowych niezbędnych do obsługi wyładunków i załadunków w centrum logistycznym.

Liczba środków transportu na cele obsługi dostaw i wydań towarów z magazynu powinna być dostosowana do zaistniałych potrzeb. Na ich liczbę mają wpływ takie czynniki jak intensywność napływających zgłoszeń, do których są one wykorzystywane, tj. dostaw/wydań oraz ich wielkości (waga/kubatura). Czynniki te decydują o czasie, kiedy powstaje zapotrzebowanie na obsługę, w jakiej liczbie środki transportowe (np. wózki widłowe) powinny być oddelegowane do obsługi oraz o tym ile czasu trwa obsługa dostawy/wydania.

2. SYMULACJA DZIAŁAŃ LOGISTYCZNYCH

Głównym celem symulacji działań logistycznych jest możliwość obserwacji zachodzących zjawisk w badanym systemie. Na tej podstawie można wyciągnąć wnioski, które mogą być podstawą podejmowania decyzji o reorganizacji badanego systemu logistycznego.

W centrum logistycznym w systemie obsługi dostaw/wydań przychodzące dostawy oraz zgłoszenia o konieczności wydania z magazynu często pojawiają się stochastycznie, czasami nagle, w momentach trudnych do przewidzenia. Także ich wielkość (waga, objętość) czasem trudno przewidzieć. Niełatwo jest opracować matematyczny opis badanego systemu, w którym zachodzą zdarzenia losowe i uzyskać przy tym zadowalający wynik. Jednak wiele rozwiązań złożonych zadań technicznych można osiągnąć, budując odpowiedni model probabilistyczny, konstruując odpowiednie procesy stochastyczne, a następnie przeprowadzając symulację statystyczną jego działania.

System obsługi dostaw/wydań w centrum logistycznym może być traktowany jak wielokanałowy system masowej obsługi, a organizacja procesu masowej obsługi zawiera w sobie elementy probabilistyczne. Wskazaniem jest sformalizowanie losowo pojawiających się zgłoszeń (dostaw/wydań) tak, aby można było przyporządkować je modelom znanym w teorii prawdopodobieństwa – teorii masowej obsługi i modelowaniu statystycznemu. Opracowane dotychczas modele oparte są na precyzyjnym określeniu rozkładu strumienia wejściowego zgłoszeń oraz czasu obsługi. Analityczne metody badania systemów obsługi masowej napotykać na duże trudności, a znakomita większość prac dotyczy przypadków, gdzie czasy obsługi lub odcinki czasu między zgłoszeniami są zmiennymi losowymi o rozkładzie wykładniczym (strumień Poissona). Systemy z innymi rozkładami tych zmiennych są trudne do zastosowania w praktyce.

W systemie obsługi dostaw/wydań również występują: wejściowy strumień zgłoszeń (zgłoszenia o przybyciu dostawy lub potrzebie wydania towarów) oraz czasy obsługi dostawy/wydania.

Losowy charakter zmiennych wymusza podjęcie próby określenia prawdopodobieństwa ich powstawania. Stąd najbardziej uzasadnione, do opisu systemu dostaw/wydań, jest wykorzystanie metody modelowania statystycznego, bazującej na statystykach zaistniałych zdarzeń (dostaw/wydań) w poprzednich okresach czasu. Metoda

ta pozwala, przede wszystkim, na istotne uproszczenie rozwiązania zadania, które może zostać sformułowane w języku teorii prawdopodobieństwa, jak również na wyrażenie odpowiedzi w takim samym języku. Nie trzeba formułować zależności analitycznych, opisujących system masowej obsługi, tzn. nie trzeba ściśle wyznaczać rozkładów zmiennych: strumienia zgłoszeń i czasu obsługi. Ponadto symulację statystyczną stosunkowo łatwo można zaprogramować komputerowo, co pozwoli przyspieszyć prowadzenie żmudnych obliczeń, zastępując w ten sposób prowadzenie długotrwałego i kosztownego eksperymentu fizycznego.

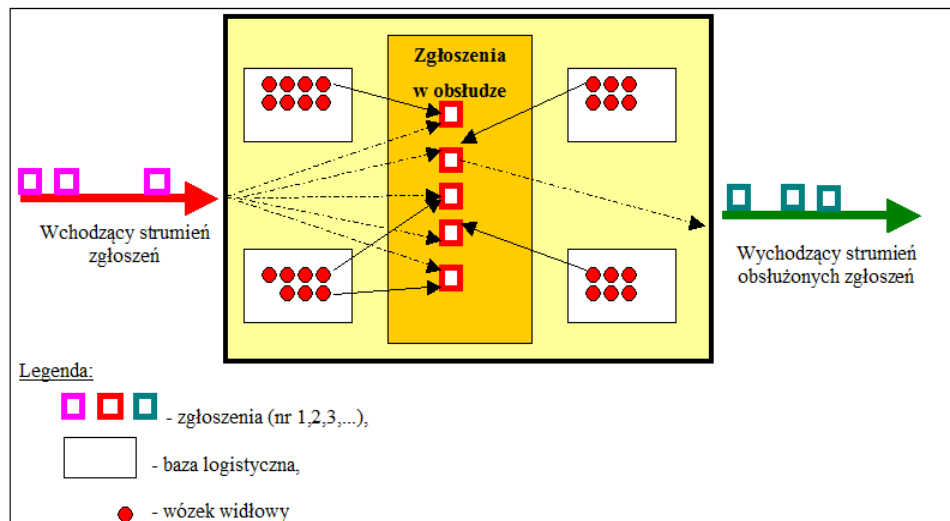
Głównymi powodami wyboru metody symulacji statystycznej są: losowy charakter badanych zjawisk, trudność odwzorowania modelu za pomocą zależności analitycznych znanych modeli teorii masowej obsługi, możliwość znacznego uproszczenia zadania oraz możliwość komputerowego zaprogramowania działania modelu.

Badany system działań logistycznych jest bardzo złożony. Jego wierne modelowe odwzorowanie jest trudno osiągalne. Dlatego w przedstawionym modelu i symulacji jego działania wprowadzono dodatkowe założenia: użyte w symulacji kanały obsługi (wózki widłowe) uznaje się za jednakowe oraz że każda dostawa/wydanie jest obsługiwane przez jeden kanał obsługi (wózek). Jeżeli uda się odpowiednio sformalizować poszczególne fragmenty modelu oraz relacje zachodzące między nimi, to dalsze rozważania można prowadzić na podstawie zbudowanego modelu probabilistycznego. Przy jego budowie można przyjąć, że jego odwzorowaniem jest odpowiednia statystyka opisująca rzeczywisty system. Prowadzona w ten sposób symulacja rzeczywistości, za pomocą prawidłowo skonstruowanego eksperymentu statystycznego, nie będzie tą samą rzeczywistością i będzie się od niej nieco różnić. Pozwala jednak wyciągnąć dostatecznie pewne wnioski odnośnie badanych wielkości, a osiągnięty tą metodą wynik nie powinien być znacząco odległy od prawdziwych zachowań systemu dostaw/wydań w centrum logistycznym.

2.1 Model systemu logistycznego

Przed przeprowadzeniem symulacji statystycznej należy skonstruować model probabilistyczny, odwzorowujący badany system logistyczny. Konieczne jest skonstruowanie odpowiednich zmiennych losowych lub procesów stochastycznych, których obserwacja pozwala na oszacowanie pożądanych wielkości, charakteryzujących poszczególne warianty rozwiązań. Do konstrukcji zmiennych losowych wykorzystuje się dane rzeczywiste, tj. statystyki opisujące rzeczywisty system. Sposób ich konstrukcji przedstawiono na przykładzie danych pozyskanych z wybranego centrum logistycznego.

Przedstawiony na rys.1 model systemu obsługi powstających losowo zgłoszeń (dostaw/wydań) można potraktować jako system masowej obsługi, gdzie przybycie dostawy lub zgłoszenie wydania towarów to strumień napływających zgłoszeń, wózki widłowe delegowane do obsługi dostaw/wydań to kanały obsługi, zaś czasy obsługi dostawy/wydania towarów to czasy trwania obsługi.



Rys.1. Ideowy schemat systemu obsługi dostaw/wydań jako systemu masowej obsługi

Model systemu jest wielokanałowym systemem obsługi, w którym zgłoszenia są obsługiwane przez n kanałów obsługi (wózków widłowych). Zajętość kanałów obsługi powstaje w wyniku napływających zgłoszeń o dostawie/wydaniu. Wchodzący strumień zgłoszeń charakteryzuje jego intensywność $\lambda > 0$, która określa liczbę powstałych zgłoszeń w jednostce czasu.

Przyjmuje się, że wszystkie kanały są jednakowe. Kiedy przybywa dostawa lub zgłoszenie o powstaniu zapotrzebowania na wydanie towarów, rozpoczyna się jego obsługa. Obsługa zgłoszenia, wykonywana przez dowolny kanał (wózek), ma losowy czas trwania.

Schemat przydziału zgłoszeń do kanałów obsługi przedstawiono na rys.2.

Jeżeli wózek jest zajęty przy innym zgłoszeniu, nie może on być użyty, co oznacza, że w danej chwili może on być zajęty obsługą tylko jednego zgłoszenia. Staje się w pełni dyspozycyjny do kolejnego zgłoszenia dopiero po zakończeniu obsługi zgłoszenia poprzedniego. Przydzielone do obsługi danego zgłoszenia kanały obsługi są zajęte przez okres czasu zwany czasem obsługi zgłoszenia. Czas obsługi jest ściśle powiązany z wielkością (objętością/wagą) dostawy/wydania. Wychodzący strumień obsługanych zgłoszeń charakteryzuje intensywność obsługi, tj. liczba zakończonych obsług w jednostce czasu.

Celem zbudowanego modelu jest ilustracja przebiegu modelowanego zjawiska tj. działań logistycznych. Na jego podstawie w dalszej części opracowano algorytm, przy pomocy którego można symulować działania logistyczne, wykorzystując statystyki ze zdarzeń, które miały miejsce w poprzednich okresach.



Rys.2. Schemat przydziału zgłoszeń do kanałów obsługi

2.1 Algorytm symulacji statystycznej

Istotną rolę w symulacji zadań masowej obsługi odgrywa konstrukcja algorytmu. Model należy opisać w dogodnej formie algorytmicznej, dającej się łatwo przełożyć na język programowania, aby do prowadzenia symulacji można było wykorzystać elektroniczne maszyny cyfrowe.

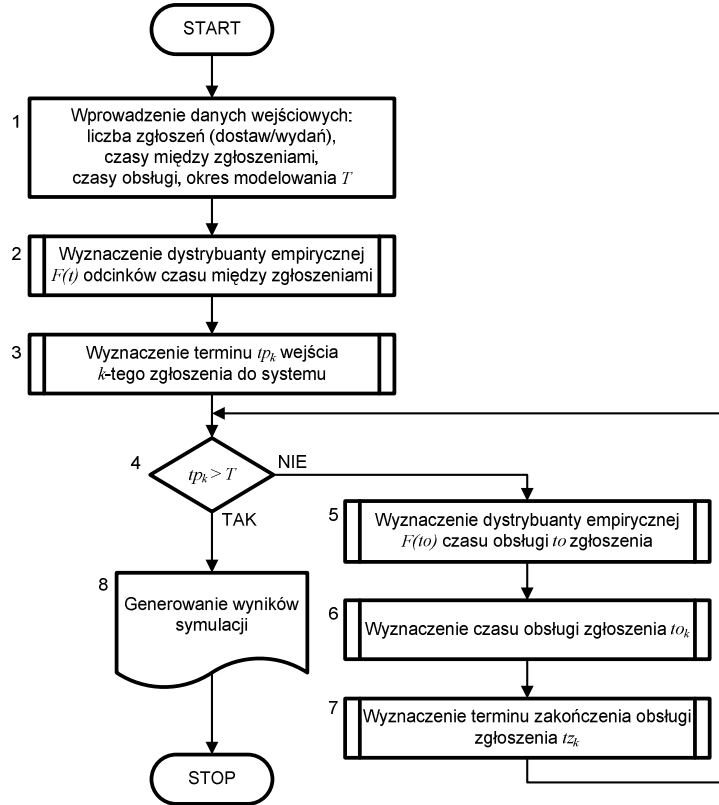
Schemat ogólny algorytmu symulacji działania systemu obsługi zgłoszeń (dostaw/wydań) przedstawiono na rys.3. Na jego podstawie omówiono kolejne kroki prowadzonego modelowania. Przy każdym tytule kroku zamieszczono numery bloków algorytmu symulacji, których on dotyczy.

Krok 1. Wprowadzenie danych wejściowych – blok 1 – rys.3

Na podstawie zgromadzonych statystyk, dotyczących obsłużonych dostaw/wydań przez wózki widłowe, ustala się następujące parametry wejściowe prowadzonej symulacji:

- okres modelowania T ,
- liczba zgłoszeń K o wpłynięciu dostawy lub zapotrzebowania na wydanie towarów, które wpłynęły do systemu w wybranym okresie,
- terminy zgłoszeń,
- czasy to_k obsługi każdej dostawy lub zapotrzebowania na wydanie towarów.

Powyższe dane wejściowe służą do obliczeń oraz konstrukcji niezbędnych dystrybuant empirycznych w kolejnych krokach algorytmu.



Rys.3. Algorytm symulacji

Krok 2. Określenie wejściowego strumienia zgłoszeń – bloki 2 ÷ 3 – rys.3

Zgłoszenia napływają do systemu w sposób stochastyczny tworząc strumień wejściowy zgłoszeń. Dla jego określenia niezbędne jest wyznaczenie rozkładu odcinków czasu t między kolejnymi zgłoszeniami. Odcinki czasu t między kolejnymi zgłoszeniami są zmiennymi losowymi, mającymi charakter ciągły, o nieznanym rozkładzie.

W oparciu o dane ustalone w kroku 1, dotyczące terminów wejścia zgłoszeń do systemu, wyznaczono odcinki czasu t , jakie upłynęły między kolejnymi zgłoszeniami. W dalszej kolejności należy pogrupować je w przedziały klasowe i na podstawie liczebności l_t odcinków czasu t w każdym przedziale należy obliczyć częstości względne f_t ich występowania wg zależności (1).

$$f_t = \frac{l_t}{K-1} \quad (1)$$

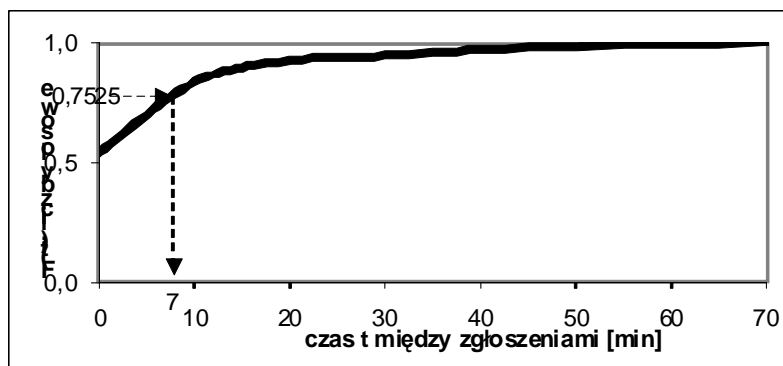
gdzie: f_t – częstość względna odcinków czasu t między zgłoszeniami, mieszczących się w danym przedziale klasowym,
 l_t - liczebność odcinków czasu t dla danego przedziału klasowego,
 K – liczba wszystkich zgłoszeń.

Sumując kolejne wartości częstości f_t , otrzymuje się wartości dystrybuanty empirycznej $F(t)$. Przedziały klasowe odcinków czasu t oraz obliczone wartości zestawia się wg tab.1. Niekiedy zdarza się, że więcej niż jedna dostawa przybywa w jednej chwili. Stąd odcinek czasu między takimi dostawami wynosi 0.

Tab.1. Zestawienie częstości występowania odcinków czasu t między zgłoszeniami

czas między zgłoszeniami t [min]	koniec przedz. klas. t [min]	liczebność l_t	częstość f_t	dystrybuanta $F(t)$
0	0	l_0	f_0	f_0
1-10	10	l_{10}	f_{10}	f_0+f_{10}
11-20	20	l_{20}	f_{20}	$f_0+f_{10}+ f_{20}$
21-30	30	l_{30}	f_{30}	$f_0+f_{10}+ f_{20}+ f_{30}$
...
	razem	$K-1$		

Schemat przykładowej dystrybuanty $F(t)$ przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Dystrybuanta $F(t)$ odcinków czasu t między zgłoszeniami

Na osi rzędnych odkłada się liczby losowe z rozkładu równomiernego z przedziału $[0,1]$, które pokrywają się z wartościami dystrybuanty $F(t)$. Natomiast na osi odciętych odkłada się czas między zgłoszeniami t , który odpowiada wartościom z końców każdego przedziału. Sporządzona dystrybuanta $F(t)$ (rys.4) służy do symulacji wyznaczania terminów t_p wejścia zgłoszeń do systemu (blok 2 – rys.3).

Symulacja napływu zgłoszeń, dla wybranego odcinka czasu, np. dnia lub miesiąca, przeprowadzana jest w poniżej przedstawiony sposób.

Za początek symulacji przyjmuje się godzinę 0. Wyznaczenie terminu wpłynięcia pierwszego zgłoszenia tp_1 , wymagającego obsługi, polega na wylosowaniu, z wykorzystaniem generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym, liczby losowej z przedziału $[0,1]$. Następnie prowadzi się prostą równoległą do osi odciętych aż do przecięcia z krzywą dystrybuanty $F(t)$. Z osi odciętych odczytuje się czas t , jaki upłynął od godziny 0 do wejścia pierwszego zgłoszenia. Otrzymuje się w ten sposób termin wejścia pierwszego zgłoszenia tp_1 wg zależności (2).

$$tp_1 = 0 + t \quad (2)$$

Przykład:

Przy zastosowaniu generatora liczb losowych wylosowano liczbę 0,7525. Z osi odciętych dystrybuanty $F(t)$ - rys.4, odczytuje się $t=7min$. Zgodnie z zależnością (2) termin wejścia pierwszego zgłoszenia $tp_1=7min$.

Terminy wejścia kolejnych zgłoszeń do systemu, które są jednocześnie terminami początku obsługi, określa się w analogiczny sposób, z tą jednak różnicą, że odczytany z osi odciętych czas t dodaje się do terminu wejścia poprzedniego zgłoszenia wg zależności (3).

$$tp_k = tp_{k-1} + t \quad (3)$$

Jeżeli termin tp_k wejścia zgłoszenia jest mniejszy od przyjętego w kroku 1 okresu modelowania T (blok 4 – rys.3) proces symulacji jest kontynuowany i należy przejść do kroku 3 (blok 5 – rys.3). w celu ustalenia czasu obsługi k -tego zgłoszenia. Jeżeli natomiast termin tp_k wejścia k -tego zgłoszenia przekroczy okres modelowania T , należy przerwać proces symulacji i przejść do kroku 4 (blok 8 – rys.3).

Krok 3. Wyznaczenie czasu obsługi zgłoszenia – bloki 5 ÷ 7 – rys.3

Czas trwania obsługi to zależy głównie od wielkości dostawy/wydania i jest zmienną losową o charakterze ciągłym. Przyjmuje ona wartości ze zbioru liczb rzeczywistych dodatnich R^+ . Do symulacji czasu obsługi to należy określić jego rozkład, a więc funkcję prawdopodobieństwa lub dystrybuantę czasu obsługi.

Korzystając z zebranych w kroku 1 danych statystycznych, dotyczących czasów obsługi to zgłoszeń oblicza się częstości względne ich występowania wg zależności (4).

$$c_{to} = \frac{r_{to}}{z} \quad (4)$$

gdzie: c_{to} - częstość względna czasu obsługi to ,

r_{to} - liczba zgłoszeń obsłużonych w czasie to ,

z - liczba wszystkich zgłoszeń w analizowanym okresie.

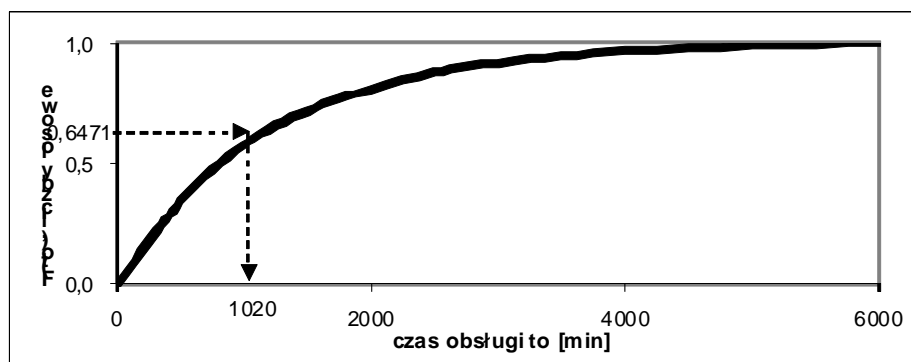
Do symulacji czasów obsługi proponuje się wykorzystać aktualne dane statystyczne, gdyż one najlepiej ilustrują możliwości obecnie posiadanego wyposażenia.

Na podstawie statystyk realizacji zmiennej czasu obsługi t_o i obliczonych częstości względnych c_{t_o} , sporządza się dystrybuanty empiryczne $F(t_o)$ czasu obsługi. Obliczenia zestawia się w tab.2.

Tab.2. Zestawienie czasów trwania obsługi t_o

czas obsługi t_o [min]	koniec przedziału klasowego t_o [min]	liczebność r_{t_o}	częstość c_{t_o}	dystrybuanta $F(t_o)$
10-20	20	r_{20}	c_{20}	c_{20}
21-30	30	r_{30}	c_{30}	$c_{20} + c_{30}$
...
	razem	Z		

Na rys.5 przedstawiono przykładową dystrybuantę czasu obsługi $F(t_o)$. Na osi rzędnych umieszcza się liczby losowe. Generując liczby losowe z rozkładu równomiernego, z przedziału [0,1], z osi odciętych odczytuje się czas obsługi k -tego zgłoszenia t_{o_k} .



Rys.5. Dystrybuanta $F(t_o)$ czasu obsługi t_o

Przykład:

Wygenerowano liczbę losową $L=0,6471$. Z osi odciętych dystrybuanty $F(t_o)$ – rys.24, odczytuje się czas obsługi $t_{o_k}=1020$ min.

Znając termin wejścia k -tego zgłoszenia do systemu tp_k oraz czas jego obsługi t_{o_k} można wyznaczyć termin zakończenia obsługi tz_k tego zgłoszenia wg zależności (5).

$$tz_k = tp_k + t_{o_k} \tag{5}$$

gdzie: tz_k - termin zakończenia obsługi zgłoszenia k ,
 tp_k - termin początku obsługi zgłoszenia k ,
 t_{o_k} - czas obsługi zgłoszenia k .

Termin tz_k zakończenia obsługi k -tego zgłoszenia oznacza, że użyty do jego obsługi wózek staje się ponownie wolny i mogą on zostać użyty do obsługi kolejnych zgłoszeń.

Krok 4. Wyniki symulacji – blok 8 – rys.3

Zgodnie z blokiem 4 algorytmu symulacji (rys.3), gdy termin wejścia tp_k kolejnego zgłoszenia jest równy lub przekracza przyjęty w kroku 1 okres modelowania T , należy zakończyć symulację i przystąpić do wygenerowania macierzy wyników symulacji WS , przedstawionej w tab.3. Zawiera ona wszystkie parametry zgłoszeń, które wpłynęły do systemu w trakcie procesu symulacji.

Tab.3. Zestawienie wyników symulacji – macierz WS

nr zgłoszenia k	czas obsługi to_k [min]	termin początku obsługi tp_k [min]	termin zakończenia obsługi tz_k [min]
1	to_1	tp_1	tz_1
2	to_2	tp_2	tz_2
...

3. WNIOSKI

Zaproponowany algorytm symulacji może być wykorzystany jako narzędzie wspomagające proces organizacji systemu, np. wyznaczania liczby wózków obsługujących dostawę/wydania z magazynu.

Wykorzystując aktualne statystyki z wybranego okresu czasu można prześledzić wiele wariantów realizacji działań logistycznych, co pozwala uzyskać wynik dostosowany do potrzeb danego systemu logistycznego. Daje to możliwość przygotowania się do charakterystycznych obciążeń systemu (częstotliwości i wielkości zgłoszeń). Okresy, gdy występuje ich więcej i o większych rozmiarach, system wymaga wyposażenia w większą liczbę wózków, zapewniając jednocześnie wzrost poziomu obsługi klienta. Dzięki temu stanowi ona istotne narzędzie planowania organizacji systemu.

Proponowany schemat symulacji i obliczeń jest łatwy do wdrożenia. Dla praktycznej symulacji obliczeń można opracować program komputerowy np. w środowisku Matlab i symulować kolejne warianty systemu i procesy logistyczne w okresach o różnym natężeniu napływających zgłoszeń.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borowiak J.: *Metoda wyznaczania liczby środków transportu w stanach zagrożenia na przykładzie pojazdów straży pożarnej* - rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Radom 2006.
- [2] Fechner I.: *Centra logistyczne. Cel-realizacja-przyszłość*. Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [3] Praca zbiorowa pod kierunkiem L. Mindura: *Metodyka lokalizacji i kształtowania centrów logistycznych w Polsce*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2000