

Ireneusz JĘDRA¹

ALGORYTM SYMULACJI W PROCESIE LOKALIZACJI CENTRUM LOGISTYCZNEGO NA PRZYKŁADZIE POLSKI

W artykule przedstawiono przykład kolejnych kroków symulacji w procesie lokalizacji centrum logistycznego, służących do optymalizacji globalnych kosztów logistycznych, które uwzględniają wielkość przepływów towarowych, długość trasy transportowanego towaru, kierunki przepływów towarowych oraz lokalizację centrum logistycznego uwzględniającą przebieg głównych korytarzy transportowych

SIMULATION ALGORITHM IN THE PROCESS OF LOGISTICS CENTRE LOCATION ON THE EXAMPLE OF POLAND

The article presents an example simulation of the next steps in the localization process of the logistic center used to optimize the global logistics costs, which take into account the volume of trade flows, path length of the transported goods, the flow directions of goods and the location of logistics center which takes into account the course of the main transport corridors.

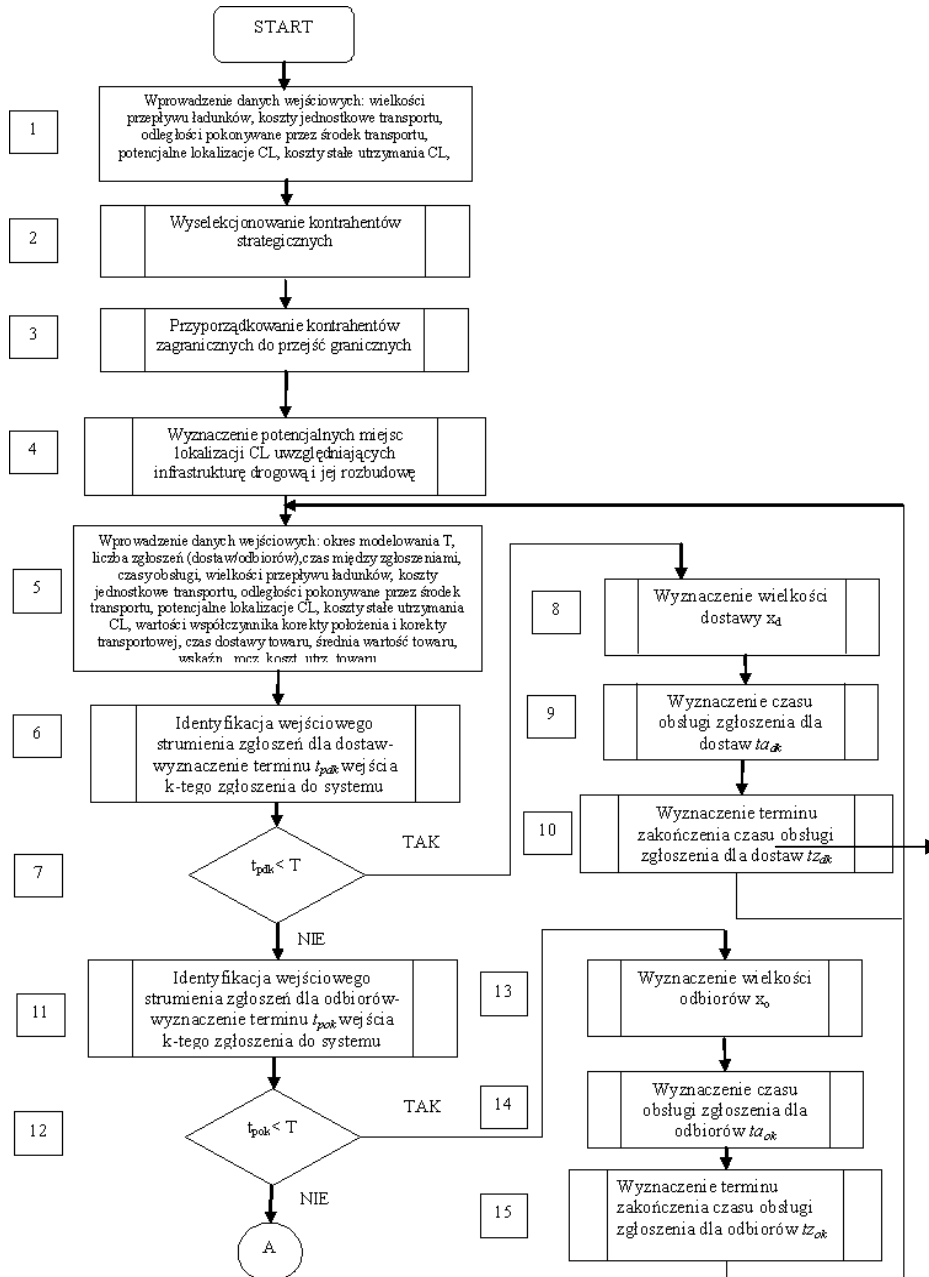
1. WSTĘP

Planowanie lokalizacji i budowa centrum logistycznego jest odpowiedzialnym i kosztownym przedsięwzięciem w skali nie tylko regionu, ale również kraju. Powinno ono podlegać odpowiednio szczegółowej analizie i określonym krokom postępowania podczas takiej inwestycji. Wiąże się z tym szereg czynników, kryteriów i warunków, które należy brać pod uwagę podczas każdego takiego planowania.

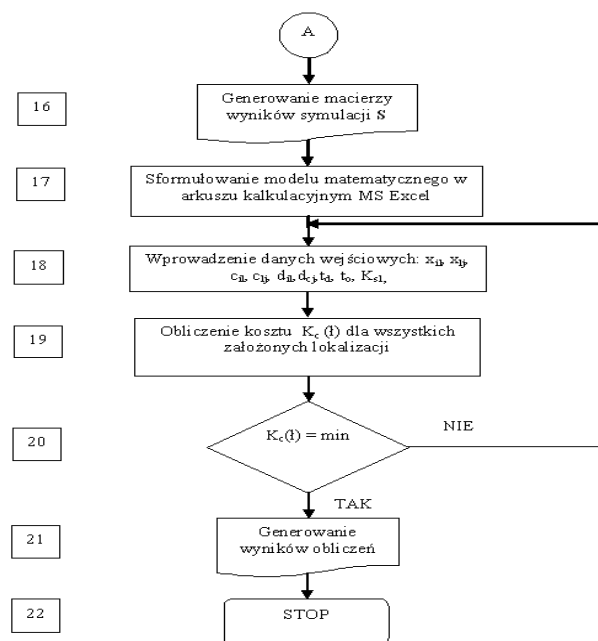
2. ALGORYTM PROCESU LOKALIZACJI CENTRUM LOGISTYCZNEGO

Przedstawiony na rys.1 algorytm procesu lokalizacji, jest propozycją postępowania przy lokalizacji centrów logistycznych. Uwzględnia on takie parametry wejściowe jak: wielkości przepływu towarów, miejsca lokalizacji dostawców i odbiorców, potencjalne miejsca lokalizacji CL na bazie przebiegu głównych szlaków komunikacyjnych, okres modelowania oraz terminy wejścia zgłoszeń do systemu i ich obsługi. Cały proces sprowadza się do wyznaczenia lokalizacji centrum logistycznego przy najniższym koszcie logistycznym, uwzględniającego określone warunki i zasady.

¹Politechnika Radomska, ul. Chrobrego 45, 26-600 Radom, Ireneusz.jedra@pr.radom.pl



Rys.1. Ogólny algorytm lokalizacji centrów logistycznych
 źródło opracowanie własne)



cd. rys.1

Powyższy algorytm został szczegółowo opisany w punktach przedstawionych poniżej.

2.1.1. Zebranie danych statystycznych

W celu przeprowadzenia prawidłowej analizy warunków i zasad lokalizacji centrum logistycznego, zgodnie z blokiem 2 algorytmu (rys.1) na podstawie zgromadzonych przez centrum logistyczne statystyk, dotychczas obsługiwanych zgłoszeń dla dostaw jak i dla odbiorów dla obszaru Polski, ustala się następujące parametry wejściowe prowadzonej symulacji:

- lokalizacje dostawców i odbiorców t_{ij} ,
- wielkość przewozu ładunków dla dostaw $x_{ij}[t]$ i dla odbiorów $x_{ij}[t]$,
- jednostkowe koszty transportu c_{ij} od dostawcy do centrum logistycznego oraz z centrum do właściwego odbiorcy w [zł/tkm],
- koszty stałe utrzymania centrum logistycznego [zł/miesiąc, zł/rok].
- liczbę zgłoszeń K do obsługi przez kanały obsługi wewnątrz centrum, które wpłynęły do systemu w wybranym okresie czasu,
- terminy zgłoszeń,
- czasy ta_d , ta_o , obsługi każdego zgłoszenia w rozpatrywanym okresie czasu wraz z czasem oczekiwania na obsługę zgłoszenia,

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

2.1.2. Wyselekcjonowanie kontrahentów strategicznych - blok 3 (rys.1)

Ze wstępnie zgromadzonych w poprzednim kroku danych statystycznych, należy wyselekcjonować grupę kontrahentów strategicznych, tj. takich, których udział towarowy w ogólnej liczbie (osobno dla dostaw i dla odbiorów) jest znaczący w ciągu analizowanego okresu czasu. Należy zwrócić uwagę, że taką selekcją należy przeprowadzić osobno dla kontrahentów krajowych i zagranicznych.

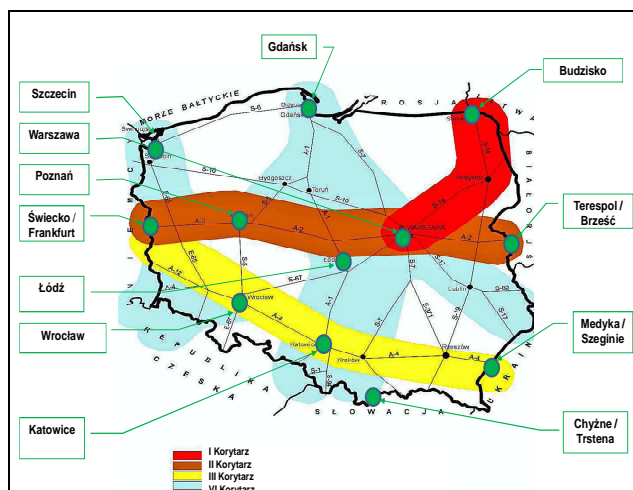
2.1.3. Przydzielenie strategicznych kontrahentów zagranicznych do przejść granicznych – blok 4 (rys.1)

Na podstawie danych zgromadzonych o dostawcach i odbiorcach strategicznych w poprzednim kroku, tworzy się mapę przejść granicznych dla kontrahentów zagranicznych. Miejsca przekroczenia granic pokrywają się z głównymi korytarzami transportowymi przebiegającymi przez Polskę w roku 2020 (Transeuropejska Sieć Transportowa).

W oparciu o przeprowadzoną analizę literaturową [1, 3, 4, 6, 7, 8] przyporządkowuje się kontrahentów strategicznych do przejść granicznych w zależności od kraju z jakiego pochodzą. Przyporządkowanie takie ma na celu określenie wielkości przepływu ładunków towarowych napływających do Polski w konkretnych przejściach granicznych (regionach Polski: północ, południe, wschód, zachód) i obliczenie na tej podstawie kosztów logistycznych przy poszczególnych lokalizacjach CL.

2.1.4. Wyznaczenie potencjalnych miejsc lokalizacji uwzględniających infrastrukturę drogową i jej rozbudowę

Zgodnie z blokiem 5 algorytmu (rys. 1) na podstawie planu przebiegu dróg kołowych (Transeuropejska Sieć Transportowa –TEN) dla roku 2020 ze szczególnym uwzględnieniem przebiegu dróg w Polsce oraz analizy literatury [1, 6, 7, 8] ustala się potencjalne miejsca lokalizacji centrów logistycznych (rys.2), dla których będą przeprowadzane obliczenia kosztowe.



Rys.2. Potencjalne miejsca lokalizacji centrów logistycznych uwzględniające główne korytarze transportowe dla których liczone są koszty logistyczne (źródło: opracowanie własne)

2.1.5. Wprowadzenie danych statystycznych dla symulacji statystycznej

Na podstawie zgromadzonych statystyk, dotyczących obsłużonych dostaw przez wózki widłowe (kanały obsługi), 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 t_{dk} obsługi każdej dostawy lub t_{ok} obsługi każdego odbioru towarów,
- wielkości dostaw x_d lub odbiorów x_o towarów (masa towarów).

Powyższe dane wejściowe posłużą do obliczeń oraz konstrukcji dystrybuant empirycznych w kolejnych krokach algorytmu symulacji.

2.1.6. Identyfikacja wejściowego strumienia zgłoszeń dla dostaw – blok 6 - rys.1 [9]

Zgłoszenia o nadejściu ładunków napływają w sposób stochastyczny, tworząc wejściowy strumień zgłoszeń.

W celu jego określenia niezbędne jest wyznaczenie odcinków czasu t między kolejnymi zgłoszeniami.

Jeżeli podczas badania zgodności wejściowego strumienia zgłoszeń z rozkładem Poissona dla różnych okresów czasu potwierdzą, wówczas do ich wyznaczenia należy zastosować metodę symulacji statystycznej.

W oparciu o dane ustalone w kroku 5, dotyczące między innymi terminów wejścia zgłoszeń do systemu, należy wyznaczyć 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 C_t ich występowania wg zależności (1).[2]

$$C_{t_d} = \frac{l_{t_d}}{K_d - 1} \quad (1)$$

gdzie: C_{t_d} – częstość względna odcinków czasu t_d między kolejnymi zgłoszeniami,

mieszczących się w danym przedziale klasowym,

l_{t_d} – liczebność odcinków czasu t dla danego przedziału klasowego,

K_d – liczba wszystkich zgłoszeń.

Sumując kolejne wartości częstości C_{t_d} , otrzymuje się wartości dystrybuanty empirycznej $F(t_d)$. Przedziały klasowe odcinków czasu t_d oraz obliczone wartości zestawia się wg tabeli 1. Czasami zdarza się, że więcej niż jedna dostawa przybywa w jednej chwili. Dlatego odcinek czasu między dostawami wynosi 0.

Tabela.1. Zestawienie częstości występowania odcinków czasu między zgłoszeniami [2]

Czas między zgłoszeniami t_d [min]	Koniec przedz. klas. t_d [min]	Liczebność l_{t_d}	Częstość $C_{t_d} = \frac{l_{t_d}}{K_d - 1}$	Dystrybuanta $F(t_d)$
0	0	$l_{0,d}$	$C_{0,d}$	$C_{0,d}$
1- 10	10	$l_{10,d}$	$C_{10,d}$	$C_{10,d}$
...
	Razem	K_d-1		

Jednocześnie na osi rzędnych odkłada się liczby losowe z rozkładu równomiernego z przedziału $[0,1]$, które pokrywają się z wartościami dystrybuanty $F(t_d)$. Natomiast na osi odciętych odkłada się czas między zgłoszeniami t_d , który odpowiada wartościom z końców każdego przedziału.

Tak sporządzona zależność $F(t_d)$ służy do symulacji wyznaczania terminów tp_d wejścia zgłoszeń do systemu (blok 6 – rys.1).

Symulacja napływu zgłoszeń wg metody Monte Carlo, dla wybranego odcinka czasu, np. dnia, przeprowadzana jest w poniżej przedstawiony sposób.[2]

Za początek symulacji przyjmuje się godzinę 0. Wyznaczenie terminu wpłynięcia pierwszego zgłoszenia dla dostaw tp_{d1} 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 $F(t_d)$. Z osi odciętych odczytuje się czas t_d , jaki upłynął od godziny 0 do wejścia pierwszego zgłoszenia. Otrzymuje się w ten sposób termin wejścia pierwszego zgłoszenia tp_{d1} wg zależności (2).

$$tp_{d1} = 0 + t_d \quad (2)$$

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_d dodaje się do terminu wejścia poprzedniego zgłoszenia wg zależności (3).[2]

$$tp_{dk} = tp_{dk-1} + t_d \quad (3)$$

Jeżeli termin tp_{dk} wejścia zgłoszenia jest mniejszy od przyjętego w kroku 7 okresu modelowania T (blok 7 – rys.1) proces symulacji jest kontynuowany i należy przejść do kroku 7 (blok 8 –rys.1) w celu ustalenia pozostałych parametrów k -tego zgłoszenia. Jeżeli natomiast termin tp_{dk} wejścia k -tego zgłoszenia przekroczy okres modelowania T , należy przerwać proces symulacji i przejść do kroku 7 (blok 11 – rys.1).

2.1.7. Wyznaczenie wielkości dostawy – blok 8 (rys.1)

Kolejnym krokiem w procesie symulacji jest ustalenie wielkości dostawy (blok 8 – rys.1), która została zgłoszona i weszła do systemu.

Na podstawie realizacji zmiennej x_d w poprzednich okresach czasu, należy wyznaczyć jej rozkład, czyli jej funkcję prawdopodobieństwa lub dystrybuantę $F(x_d)$.

Korzystając z zebranych w kroku 5 danych statystycznych, dotyczących wielkości dostaw w badanym okresie, konstruuje się rozkład empiryczny zmiennej wielkości dostaw x_d oraz oblicza się częstości względne ω_{x_d} występowania poszczególnych wielkości dostaw w tym okresie wg zależności (4).

$$\omega_{x_d} = \frac{l_{x_d}}{K_d} \quad (4)$$

gdzie: ω_{x_d} – częstość względna wielkości dostaw x_d w danym przedziale klasowym, l_{x_d} – liczba dostaw o wielkości x_d dla danego przedziału klasowego, K_d – liczba wszystkich dostaw (zgłoszeń).

Na tej podstawie wyznacza się dystrybuantę empiryczną $F(x_d)$ wielkości dostawy przedstawiającą skumulowane częstości występowania poszczególnych wielkości dostaw, a obliczenia zestawia się w tabeli 6.

Na osi rzędnych dystrybuanty $F(x_d)$ odkłada się liczby losowe z rozkładu równomiernego z przedziału $[0,1]$, które pokrywają się z wartościami dystrybuanty $F(x_d)$.

Wyznaczenie wielkości zdarzenia (dostawy) metodą Monte Carlo odbywa się przy użyciu generatora liczb losowych i granic przedziałów wyznaczonych przez dystrybuantę.

Tab.6. Zestawienie częstości występowania dostaw o danej wielkości w danym okresie czasu

Wielkość dostawy x_d [t]	Koniec przedz. klas. x_d [t]	Liczebność l_{x_d}	Częstość $\omega_{x_d} = \frac{l_{x_d}}{K_d}$	Dystrybuanta $F(x_d)$
do 10	10	l_{10}	ω_{10}	ω_{10}
11-20	20	l_{20}	ω_{20}	$\omega_{10} + \omega_{20}$
...
	Razem	K_d		1

2.1.8. Wyznaczenie czasu obsługi zgłoszenia dla dostaw (czasu trwania rozładunku towaru) – blok 9-10 (rys.1)

Wyznaczenie czasu obsługi zgłoszenia, które weszło do systemu jest kolejnym etapem symulacji (blok 9 – rys.1).

Czas trwania obsługi ta_{dk} jako przedział czasu niezbędny dla spełnienia przez system wszystkich wymagań pochodzących od jednego zgłoszenia.[5]

Czas trwania obsługi zgłoszenie dla dostawy (czas rozładunku) liczony jest od momentu przyjęcia zgłoszenia podczas przyjazdu ładunku do strefy przyjęć w centrum logistycznym, do momentu rozładunku przez kanały obsługi w dokach rozładunkowych.

Czas obsługi zależy od kilku parametrów, do których należą:

- liczba pojazdów oczekujących w kolejce,
- liczba pracujących kanałów obsługi (doki rozładunkowe i ekipy rozładunkowe),
- zajętość kanałów obsługi (praca przy innym zgłoszeniu).

Po dokonaniu analizy strumienia wejściowego dla dostaw, przeprowadzonej w kroku 5 okazało się, że wejściowy strumień zgłoszeń jest niepoissonowski a rozkład odcinków czasu między zgłoszeniami nie poddaje się opisowi rozkładem wykładniczym, dlatego też jest trudność w określeniu czasu obsługi za pomocą dostępnych algorytmów w TMO. Ponadto jest ona zmienną losową o charakterze ciągłym. Przyjmuje wartości ze zbioru liczb rzeczywistych dodatnich R^+ .

Do symulacji czasu obsługi ta_{dk} należy określić jego rozkład, a więc funkcję prawdopodobieństwa lub dystrybuantę czasu obsługi $F(ta_d)$.

Korzystając z zebranych w kroku 5 danych statystycznych, dotyczących czasów

obsługi ta_d zgłoszeń (dzień najbardziej obciążony zarówno wielkością dostaw jak również liczbą zgłoszeń dostawców zarejestrowanych przez system), oblicza się częstości

względne φ_{ta_d} wg zależności (5).

$$\varphi_{ta_d} = \frac{\tau_{ta_d}}{Z_d} \quad (5)$$

gdzie: φ_{ta_d} - częstość względna czasu obsługi dostawy ta_d ,

τ_{ta_d} - liczba zgłoszeń obsłużonych w czasie ta_d ,

z_d – liczba wszystkich zgłoszeń w analizowanym okresie.

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

Na podstawie statystyk realizacji zmiennej czasu obsługi ta_d i obliczonych częstości względnych φ_{ta_d} sporządza się dystrybuanty empiryczne $F(ta_d)$ czasu obsługi dla poszczególnych dostaw. Obliczenia zestawia się w tabeli 7.

Tab.7. Zestawienie czasów trwania obsługi dla dostaw

czas obsługi ta_d [min]	koniec przedziału klasowego ta_d [min]	liczebność τ_{ta_d}	częstość $\varphi_{ta_d} = \frac{\tau_{ta_d}}{z_d}$	dystrybuanta $F(ta_d)$
10-20	20	$\tau_{20,d}$	$\varphi_{20,d}$	$\varphi_{20,d}$
...
	razem	z_d		

Na rys.3 przedstawiono przykładową dystrybuantę czasu obsługi $F(ta_d)$ dla dostaw. Równocześnie 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 dla odbiorów ta_{k_d} .

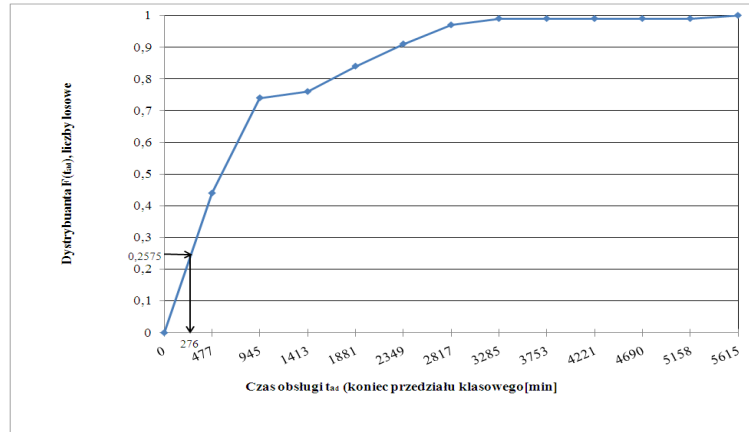
Znając ustalony w kroku 6 termin wejścia k -tego zgłoszenia do systemu tp_{k_d} oraz czas jego obsługi ta_{k_d} można wyznaczyć termin zakończenia obsługi tz_{k_d} tego zgłoszenia wg zależności (6).

$$tz_{k_d} = tp_{k_d} + ta_{k_d} \quad (6)$$

gdzie: tz_{k_d} - termin zakończenia obsługi zgłoszenia k_d ,

tp_{k_d} - termin początku obsługi zgłoszenia k_d ,

ta_{k_d} - czas obsługi zgłoszenia k_d .



Rys.3. Dystrybuanta $F(t_d)$ czasu obsługi t_d dla dostaw

Termin t_{zd} zakończenia obsługi k -tego zgłoszenia oznacza, że użyty do jego obsługi wózek widłowy staje się ponownie wolny i może on zostać użyty ponownie do obsługi kolejnych zgłoszeń.

W dalszej kolejności należy zamienić otrzymany czas wyrażony w minutach na dni.

2.1.9. Identyfikacja wejściowego strumienia zgłoszeń dla odbiorów – lok 11 (rys.1)[2]

Zgłoszenia o zapotrzebowanie na towar napływają podobnie jak dla dostaw w sposób stochastyczny, tworząc wejściowy strumień zgłoszeń.

W identyczny sposób jak dla dostaw niezbędne jest wyznaczenie odcinków czasu t_o między kolejnymi zgłoszeniami. Podobnie jak dla dostaw wyznacza się pozostałe parametry wg następujących zależności: [2]

$$c_{t_o} = \frac{l_{t_o}}{K_o - 1} \quad (7)$$

gdzie: c_{t_o} – częstość względna odcinków czasu t_o między kolejnymi zgłoszeniami,

mieszczących się w danym przedziale klasowym,

l_{t_o} – liczebność odcinków czasu t_o dla danego przedziału klasowego,

K_o – liczba wszystkich zgłoszeń.

$$tp_{o1} = 0 + t_o \quad (8)$$

Terminy wejścia kolejnych zgłoszeń do systemu, które są jednocześnie terminami początku obsługi, określa się w analogiczny sposób, jak dla dostaw lecz wg zależności (9).[2]

$$tp_{ok} = tp_{ok-1} + t_o \quad (9)$$

Jeżeli termin tp_{ok} wejścia zgłoszenia jest mniejszy od przyjętego w kroku 5 okresu modelowania T (blok 5 – rys.1) proces symulacji jest kontynuowany i należy przejść do kroku 8 (blok 12 –rys.1) w celu ustalenia pozostałych parametrów k - tego zgłoszenia. Jeżeli natomiast termin tp_{ok} wejścia k -tego zgłoszenia przekroczy okres modelowania T , należy przerwać proces symulacji i przejść do kroku 8 (blok 13 – rys.1). Wszystkie obliczenia nie zostały dopięte do załączników ze względu na dużą objętość pracy.

2.1.10. Wyznaczenie wielkości dostaw – blok 13 (rys.1)

Kolejnym krokiem w procesie symulacji jest ustalenie wielkości odbiorów (blok 13 – rys.1), na które zostały złożone zamówienia i weszły do systemu. Tok postępowania jest identyczny jak w przypadku dostaw z tą jednak różnicą, że korzysta się wg zależności (10)

$$\omega_{x_o} = \frac{l_{x_o}}{K_o} \quad (10)$$

gdzie: ω_{x_o} – częstość względna wielkości odbiorów x_o w danym przedziale klasowym,

l_{x_o} – liczba odbiorów o wielkości x_o dla danego przedziału klasowego,

K_o – liczba wszystkich odbiorów (zgłoszeń).

2.1.11. Wyznaczenie czasu obsługi zgłoszenia dla odbiorów (czasu trwania załadunku towaru) – blok 14 -15 (rys.1)

Wyznaczenie czasu obsługi zgłoszenia, które weszło do systemu jest kolejnym etapem symulacji (blok 14 – rys.1).

Czas trwania obsługi zgłoszenia (czas załadunku towaru) liczony jest od momentu wejścia zgłoszenia do systemu do załadunku towaru na naczepę przez wózek widłowy (kanał obsługi) i wyjazdu naczepy z załadowanym towarem. Jest ona zmienną losową o charakterze ciągłym. Czas liczony jest w identyczny sposób jak dla dostaw w kroku 7, a częstości względne φ_{ta_o} czasu obsługi odbiorów obliczane są wg zależności (11).

$$\varphi_{ta_o} = \frac{\tau_{ta_o}}{Z_o} \quad (11)$$

gdzie: φ_{ta_o} - częstość względna czasu obsługi dostawy ta_o ,

τ_{ta_o} - liczba zgłoszeń obsłużonych w czasie ta_o ,
 z_o - liczba wszystkich zgłoszeń w analizowanym okresie.

Obliczenia zestawia się podobnie jak dla dostaw w tabeli 7 uwzględniając oznaczenia dla odbiorów.

Znając ustalony w kroku 8 termin wejścia k -tego zgłoszenia do systemu tp_{k_o} oraz czas jego obsługi ta_{k_o} można wyznaczyć termin zakończenia obsługi tz_{k_o} tego zgłoszenia wg zależności (12).

$$t_{z_{k_o}} = t_{p_{k_o}} + t_{a_{k_o}} \quad (12)$$

gdzie: $t_{z_{k_o}}$ - termin zakończenia obsługi zgłoszenia k_o dla odbiorów,

$t_{p_{k_o}}$ - termin początku obsługi zgłoszenia k_o dla odbiorów,

$t_{a_{k_o}}$ - czas obsługi zgłoszenia k_o dla odbiorów.

Termin $t_{z_{k_o}}$ zakończenia obsługi k -tego zgłoszenia dla odbiorów oznacza, że użyty do jego obsługi wózek widłowy staje się ponownie wolny i może on zostać użyty ponownie do obsługi kolejnych zgłoszeń.

W dalszej kolejności należy zamienić otrzymany czas wyrażony w minutach na dni.

2.1.12. Wyniki symulacji – blok 16 – rys.1

Zgodnie z blokiem 3 algorytmu symulacji (rys.1), gdy termin wejścia tp_k kolejnego zgłoszenia jest równy lub przekracza przyjęty w kroku 5 okres modelowania T , należy zakończyć symulację i przystąpić do wygenerowania macierzy wyników symulacji S (blok 16 – rys.1), przedstawionej w tab.8.

Tabela 8. Zestawienie wyników symulacji – macierz S

nr zgłoszenia k	wielkość zgłoszenia x_k	czas obsługi ta_k [min]	termin początku obsł. tp_k [min]	termin zakończenia obsł. tz_k [min]
<i>Wyniki dla dostaw</i>				
1	x_{d1}	ta_{d1}	tp_{d1}	tz_{d1}
...
<i>Wyniki dla odbiorów</i>				
1	x_{o1}	ta_{o1}	tp_{o1}	tz_{o1}
...

Zawiera ona wszystkie parametry zgłoszeń, które wpłynęły do systemu w trakcie procesu symulacji.

2.1.13. Sformułowanie modelu matematycznego w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel i wprowadzenie danych wejściowych – blok 17 – rys.1

Wyniki symulacji uzyskane w kroku 11 zostaną wykorzystane jako dane wejściowe do wyliczenia całkowitych kosztów logistycznych. W nowym zeszycie MS Excel tworzy się arkusz z opisanymi komórkami poprzez funkcje w postaci formuł, potrzebnych do obliczeń kosztowych zgodnie z założonym modelem obliczeniowym (13).

W odpowiednie komórki arkusza wstawia się dane zebrane w poprzednich krokach według tabeli 9.

Powyższa tabela służy w arkuszu obliczeniowym Excel, do wykonania obliczeń zarówno kosztów cząstkowych jak i całkowitych dla poszczególnych lokalizacji CL.

Tabela.9. Przykładowa tabela do obliczania całkowitych kosztów logistycznych w Excelu

Lp.	Lokalizacja CL						LOKALIZACJA DLA Ł1								
	Lokalizacja dost./ odbior.	Wlk. przepł. ładun. x_{ij} [t]	Koszty jedn. c_{ij} [zł/tkm]	Średni a wart. towaru C [zł/t]	Wsk. rocz. kosztu t. zap. r	Koszty stałe utr. CL. [zł/ro]	Odległ CL od [km]:	Czas tran. z oczek. na obsł. [1/365]	Współ. Kor. transp. α	Współ. korekty położ. dla γ	Koszty transportu Kt [zł]	Koszty utr. zap. w drodze Ku [zł]	Koszty stałe Ks [zł]	Wart.kosztów poszcz. tras. dla Kc [zł]	
DOSTAWCY															
1.	D ₁														
2.	D ₂														
...	...														
n	D _n														
		Σ													
ODBIORCY															
1.	O ₁														
2.	O ₂														
...	...														
m	O _m														
		Σ													
OGÓLEM															

Dla kolejnych potencjalnych lokalizacji centrów logistycznych należy w kolejnych kolumnach powtórzyć obliczenia w postaci formuł z kolumn od G do N.

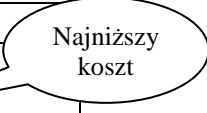
2.1.14. Obliczenie kosztów logistycznych dla potencjalnych lokalizacji centrów logistycznych i wyznaczenie lokalizacji centrum logistycznego – blok 18 ÷ 19 – rys.1

Na podstawie danych wprowadzonych do arkusza kalkulacyjnego Excel w kroku 12, przeprowadza się obliczenia kosztowe dla wszystkich potencjalnych lokalizacji centrów logistycznych wg zależności (13). W wyniku przeprowadzonych obliczeń, wskazana zostaje lokalizacja centrum logistycznego dla osiągniętego najniższego kosztu logistycznego (tabela nr 7).

$$K_c = \sum_{i=1}^m c_{il} x_{il} d_{il} \alpha + \sum_{j=1}^n c_{lj} x_{lj} d_{lj} \alpha + \sum_{i=1}^m rC(t+t_d) x_{il} + \sum_{j=1}^n rC(t+t_o) x_{lj} + K_s : \gamma \quad (13)$$

Tab.7. Przykładowa tabela przedstawiająca wyniki obliczeń ze wskazaniem najniższego kosztu logistycznego

Lokalizacja CL	Koszty logistyczne
L_1	K_{c_1}
L_2	K_{c_2}
L_3	$K_{c_3} = \min \sum K_c$
...	...



W tabeli nr 7 przykładowo zilustrowano dla lokalizacji CL (L_3) wskazanie najniższego kosztu logistycznego osiągniętego po wykonaniu obliczeń. Jest to tylko ilustracja mająca na celu pokazanie wyglądu tabeli wynikowej, w której wstawiane są obliczone wyniki kosztów logistycznych.

3. WNIOSKI

Powyższy algorytm procesu lokalizacji centrum logistycznego daje możliwość lokalizacji rozpatrywanego obiektu, ze względu na całkowity koszt logistyczny jak również założone parametry warunkujące cały proces. W miarę precyzyjny sposób można określić lokalizację przy znanych parametrach wejściowych, takich jak: wielkości przewozu ładunków od dostawców do CL i z CL do odbiorców właściwych, długości tras pokonywanych przez środki transportowe, miejsca lokalizacji dostawców i odbiorców, czasy obsługi zgłoszeń, itp.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Abt S.: *Gdzie lokalizować centra dystrybucji?* Logistyka a jakość, 2002, nr 1, str. 48-50.
- [2] Borowiak J.: *Metoda wyznaczania liczby środków transport w stanach zagrożenia na przykładzie pojazdów straży pożarnej*, Rozprawa doktorska. Politechnika Radomska, Radom 2005.
- [3] Fechner I.: *Centra logistyczne. Cel-realizacja- przyszłość*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [4] GDDP – Biuro Studiów Sieci Drogowej, 1999.
- [5] Klimow G.P.: *Procesy obsługi masowej*, WNT, Warszawa 1979.
- [6] Praca zbiorowa pod kierunkiem L. Mindura: *Metodyka lokalizacji i kształtowania centrów logistycznych w Polsce*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2000.
- [7] *Praca zbiorowa. Podstawy logistyki*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2006.
- [8] Wiśnicki B.: *Wyznaczanie lokalizacji logistycznego centrum dystrybucji w węzle transportowym (cz.1)*, Logistyka, 2003, nr 2, str. 20-21.