

Marianna Jacyna¹, Jolanta Żak²
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Zastosowanie teorii kolejek do analizy i oceny procesu transportowego w centrum logistycznym

WPROWADZENIE

W artykule metodę kolejkową zastosowano do analizy oraz oceny stopnia obciążenia strumieniem ładunków centrum logistycznego. Badania prowadzone są w celu ustalania optymalnego rozmiaru oraz wyposażenia nowo projektowanych obiektów logistycznych. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano pakiet komputerowy WinQsb.

W literaturze problemu można spotkać różne definicje oraz klasyfikacje centrów logistycznych [7], [3]. Najczęściej centrum logistyczne definiuje się jako samodzielny podmiot gospodarczy, świadczący usługi logistyczne (przewóz, przeładunki, magazynowanie, rozdział i kompletacja ładunków), realizujący tym samym funkcje zaopatrzeniowe i dystrybucyjne w określonym obszarze. Natomiast według Europejskiego Związku Centrów Logistycznych (Europlatforms), centrum logistyczne to „wyznaczony obszar, w obrębie, którego wszystkie czynności związane z transportem i dystrybucją dóbr, w ramach przewozów w relacjach zarówno krajowych, jak i międzynarodowych, wykonywane są przez różnych operatorów. Operatorzy ci mogą być właścicielami zbudowanych i znajdujących się w centrum: budynków, biur, magazynów, placów składowych, parkingów, urządzeń itp., lub korzystać z nich na zasadach dzierżawy lub wynajmu”.

Zatem dokonując ukształtowania i zwymiarowania centrum logistycznego należy zidentyfikować niezbędne elementy wyposażenia infrastrukturalnego, potrzebne do realizacji ustalonego zadania logistycznego. Ponadto koniecznym jest zidentyfikowanie powiązań występujących między elementami CL, co warunkuje realizację zadania logistycznego.

Uwzględniając powyższe, centrum logistyczne powinno dysponować: wydzielonym terenem, infrastrukturą (drogi, place, parkingi, budowle inżynierskie i budynki), wyposażeniem technologicznym niezbędnym do zmiany rodzaju środka transportu, do przemieszczania i magazynowania oraz urządzeniami do zarządzania, wykwalifikowanym personelem oraz organizacją. Obszar centrum to miejsce funkcjonowania wielu operatorów, przewoźników, spedytorów, firm specjalistycznych zdolnych świadczyć kompleksowe usługi logistyczne. Oznacza to, że wyposażenie infrastrukturalne centrum logistycznego powinno pozwolić na zmianę rodzaju środka transportowego, w tym przede wszystkim w ujęciu technologii intermodalnych drogowo-kolejowych.

1. ELEMENTY CENTRUM LOGISTYCZNEGO

Traktując centrum logistyczne jako złożony system logistyczny, który umożliwia m.in. zmianę rodzaju środka transportowego, w jego modelu, należy odwzorować przejście z jednej gałęzi transportu na drugą. W przypadku prowadzonych badań uwzględniony będzie jedynie transport drogowy i kolejowy. Natomiast formy przewozu ładunków, które mogą być realizowane z wykorzystaniem badanego centrum to transport intermodalny uwzględniając przewóz kontenerów i naczep oraz w opakowaniach na paletach, skrzyniach i w paczkach. Dopuszczalny jest również transport ładunków luzem np. **sztukowe** (np. samochody osobowe, zwoje blachy, itp.) lub **sympkie** (np. węgiel, rudy, itp.).

Przy takim założeniu rodzaje obsłóg w centrum będą

1. przyjazd transportem drogowym – obsługa dokumentów – wyjazd transportem drogowym,

¹ maja@it.pw.edu.pl

² logikal@it.pw.edu.pl

2. przyjazd transportem drogowym lub kolejowym – czynności przeładunkowe i rozdział wg zamówienia – wyjazd transportem drogowym lub kolejowym (bez zmiany gałęzi transportu),
3. przyjazd transportem drogowym lub kolejowym – czynności przeładunkowe i rozdział wg zamówienia – wyjazd transportem drogowym lub kolejowym (zmiana gałęzi transportu),
4. przyjazd transportem drogowym lub kolejowym – czynności przeładunkowe wraz z magazynowaniem – wyjazd transportem drogowym lub kolejowym (zmiana gałęzi transportu),
5. przyjazd transportem drogowym lub kolejowym – czynności przeładunkowe wraz z magazynowaniem – wyjazd transportem drogowym lub kolejowym (bez zmiany gałęzi transportu),

Założono, że w przypadku obsługi kontenerów udział kolei jest o 20% większy od przewozów realizowanych transportem drogowym, zaś w obsłudze jednostek ładunkowych paletowych udział kolei jest o 23% mniejszy od przewozów realizowanych transportem drogowym. Dobowe obciążenie strumieniem ładunków centrum logistycznego zamieszczono w tabeli 1. Natomiast na rys. 1 przedstawiono schematycznie przepływ ładunków przez badane centrum wraz z powiązaniem między jego elementami.

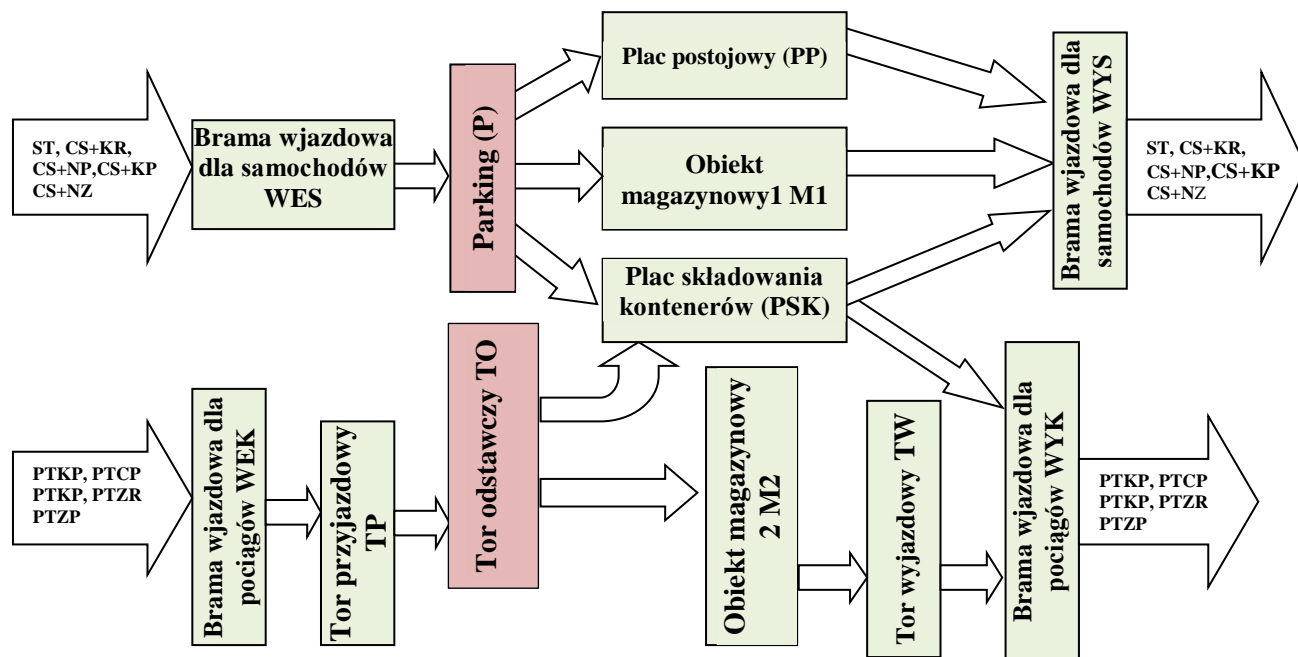
Tabela 1. Dobowy obciążenie strumieniami ładunków centrum logistycznego

Wyszczególnienie	TEU	Jednostki ładunkowe paletowe
	[szt.]	[szt.]
Przybycie:	79	2139
– transport kolejowy	43	959
– transport samochodowy	36	1180
Wysłanie:	87	1746
– transport kolejowy	48	783
– transport samochodowy	39	963
Przybycie - wysłanie	-8	393
Puste kontenery	8	-
Puste ciągniki siodłowe	-	8
Samochody w transzycie	28	

Źródło: opracowanie własne.

Jako miejsca występowania kolejek w centrum logistycznym zidentyfikowano:

- Bramę wjazdową dla samochodów (WES),
- Plac postojowy (PP),
- Plac składowania kontenerów (PSK),
- Obiekt magazynowy1 (M1),
- Obiekt magazynowy2 (M2),
- Bramę wjazdową dla pociągów (WEK),
- Tor przyjazdowy (TP),
- Tor wyjazdowy (TW),
- Bramę wyjazdową dla samochodów (WYS),
- Bramę wyjazdową dla pociągów (WYK).



Rys. 1. Schemat przepływu ładunków przez centrum logistyczne

Źródło: opracowanie własne.

2. MODEL CENTRUM LOGISTYCZNEGO Z WYKORZYSTANIEM TEORII KOLEJEK

Model matematyczny funkcjonowania kolejek opiera się na teorii procesów stochastycznych. Istotą teorii obsługi masowej są następujące terminy:

1. **zgłoszenie** – W teorii kolejek zakłada się losowy charakter powstawania żądań obsługi tzn. odstęp czasu między sąsiednimi chwilami przybywania zgłoszeń do systemu jest nieujemną zmienną losową. Podobnie jest z innymi badanymi wielkościami.
2. **wejściowy strumień zgłoszeń** – ciąg kolejnych odstępów czasu pomiędzy sąsiednimi chwilami przybycia zgłoszeń do systemu. Najczęściej jest REKURENCYJNY tzn. odstępy te są od siebie niezależne i mają jednakowy rozkład.
3. **urządzenie obsługi** – osoba lub urządzenie, które wykonuje obsługę. Czas obsługi jest również nieujemną zmienną losową i podobnie jak przy strumieniu wejściowym najczęściej zakładamy, że obsługa jest REKURENCYJNA tzn. urządzenia obsługi pracują niezależnie od siebie, a czas obsługi każdego urządzenia ma taki sam rozkład.
4. **kolejka** – kolejka w systemie obsługi powstaje, gdy nie ma możliwości w danej chwili czasu obsłużenia wszystkich zgłoszeń, ponieważ wszystkie urządzenia są w tej chwili zajęte.

Podstawowym warunkiem do stosowania metod analitycznych jest założenie iż strumień zgłoszeń jest:

- **strumieniem prostym** (tzn. stacjonarnym) – prawdopodobieństwo pojawienia się zgłoszeń zależy tylko od długości odpowiednich przedziałów czasu, lecz nie zależy od ich położenia na osi czasu. Pojawienie się k zgłoszeń w przedziale $(t, t+\tau)$ jest funkcją zmiennych k i τ
- **bez pamięci** – prawdopodobieństwo pojawienia się k zgłoszeń w pewnym przedziale czasu nie zależy od tego ile zgłoszeń i w jaki sposób wystąpiło do tego momentu
- **pojedynczy** – brak możliwości pojawienia się dwóch bądź większej liczby zgłoszeń w tym samym czasie.

Formułując model teorii kolejkowej należy określić:

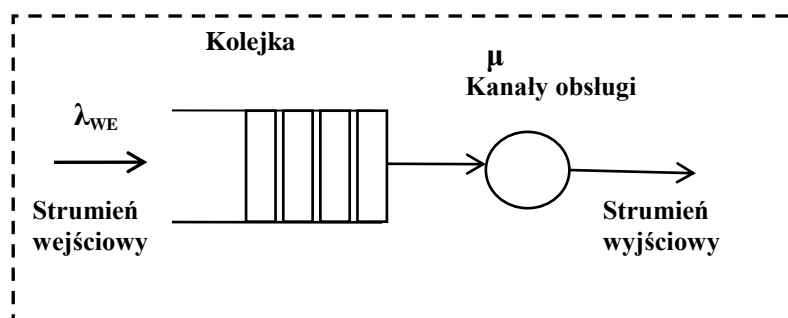
- typ rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych losowych;
- zależność lub niezależność zmiennych losowych czasu czekania na zgłoszenie i czasu obsługi;

- skończona lub nieskończona wartość liczby stanowisk obsługi, długości poczekalni;
- obowiązującą w systemie dyscyplinę obsługi.

Zmiennymi losowymi występującymi w modelu analizowanego typu są:

1. czas upływający między wejściem do systemu kolejnych zgłoszeń;
2. czas obsługi jednego zgłoszenia przez stanowisko obsługi;
3. liczba stanowisk obsługi;
4. liczba miejsc w poczekalni oczekujących na obsługę.

Na rysunku 2 przedstawiono prosty system kolejkowy, gdzie λ_{WE} jest intensywnością napływu zgłoszeń do systemu, natomiast μ jest intensywnością czasu obsługi



Rys. 2. Schemat prostego systemu kolejkowego

Źródło: opracowanie własne.

Opisując system kolejkowy można posłużyć się klasyfikacją systemów kolejkowych opracowaną przez A. M. Lee [3]. Kod opisujący system kolejkowy ma postać:

$$X/Y/m/d/l \quad (1)$$

gdzie:

- X – rodzaj rozkładu wejściowego strumienia zgłoszeń do systemu,
- Y – rodzaj rozkładu czasów obsługi zgłoszeń,
- m – liczba kanałów obsługi w systemie,
- d – dyscyplina kolejki,
- l – rozmiar systemu, czyli maksymalna liczba zgłoszeń mogących pomieścić się w systemie, tzn. w kanałach obsługi i w poczekalni.

Najczęściej występujące rozkłady wejściowego strumienia zgłoszeń oraz czasów obsługi zgłoszeń, oznaczono symbolami:

- M – rozkład wykładniczy czasów obsługi zgłoszeń albo odstępów czasu między sąsiednimi zgłoszeniami, tzn. poissonowski rozkład przybyć,
- E_k – rozkład Erlanga rzędu k czasów obsługi zgłoszeń albo odstępów czasu między sąsiednimi zgłoszeniami,
- D – strumień zdeterminowany lub regularny,
- G – strumień posiadający dowolny rozkład czasów obsługi,
- GI – strumień ogólnego typu, dowolny i niezależny,
- H_r – rozkład hyperwykładniczy r rzędu,
- C_k – rozkład Cox'a k rzędu,
- K_n – rozkład χ^2 odstępów między zgłoszeniami (z n stopniami swobody) lub rozkład χ^2 czasów obsługi.

Regulamin obsługi kolejki (dyscyplina) – określający kolejność wybierania zgłoszeń z kolejki znajdującej się w poczekalni. Podstawowe regulaminy to:

- FIFO – jako pierwszy obsługiwany jest klient najdłużej oczekujący w kolejce.;

- LIFO – jako pierwszy obsługiwany jest klient, który przybył do kolejki ostatni.;
- RSS. – klienci wybierani są do obsługi z kolejki w sposób przypadkowy;
- RR – zgłoszenia obsługiwane są zgodnie z opisaną powyżej dyscypliną FIFO, ale obsługa jest przerywana na końcu przedziału czasu nazywanego kwantem T. W przypadku, gdy obsługa zgłoszenia nie zakończono, zgłoszenie zajmuje miejsce w poczekalni z prawdopodobieństwem p albo opuszcza system w sytuacji, gdy obsługa została zakończona z prawdopodobieństwem (1 - p).;
- PS – szczególny przypadek RR, w którym przedział czasu (kwant) T dąży do 0, a prawdopodobieństwo p do 1. Iloraz $E(C) = T / (1-p)$ jest stały. C - czas trwania obsługi zgłoszenia. Regulamin kolejki oparty na tych zasadach RR i PS bywa stosowany w informatyce.

Jednym z częściej spotykanych jest system kolejek M/M/n/FIFO/∞, w którym zakładamy, że kanały obsługi, których jest m, posiadają identyczne intensywności obsługi μ . Jest oczywiste, że w takim przypadku system może znajdować się w następujących stanach:

$$\underbrace{E_0, E_1, \dots, E_i, \dots, E_n}_{\text{Stany bez kolejki}}, \underbrace{E_{n+1}, E_{n+2}, \dots, E_j, \dots, E_\infty}_{\text{Stany z kolejką}}$$

gdzie:

- E_0 – wszystkie kanały obsługi są wolne,
- E_1 – jeden kanał obsługi jest zajęty, żaden klient nie czeka w poczekalni,
- E_i – k kanałów jest zajętych, żaden klient nie czeka w poczekalni,
- E_n – wszystkie kanały są zajęte, żaden klient nie czeka w poczekalni,
- E_{n+1} – wszystkie kanały są zajęte, jeden klient czeka w poczekalni,
- E_j – wszystkie kanały są zajęte, j-n klientów czeka w poczekalni,
- E_∞ – wszystkie kanały są zajęte, nieskończenie wielu klientów czeka w poczekalni.

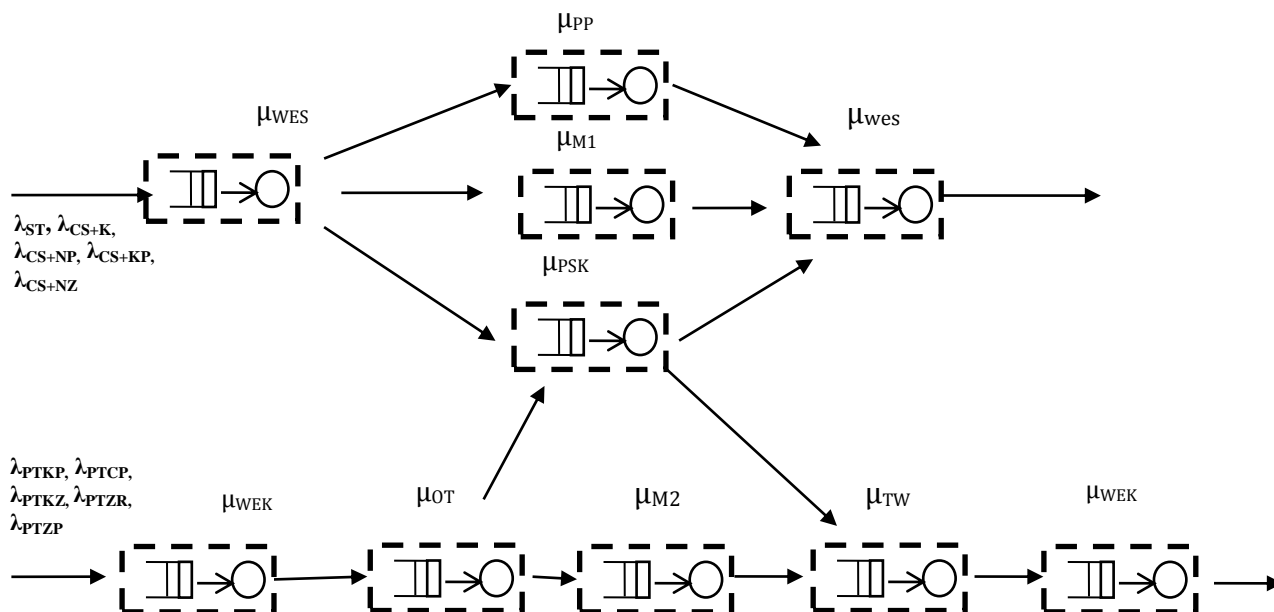
Rozwiązaniem zadań opisanych przy pomocy teorii kolejek są parametry opisujące zachowanie się systemu tj.: długość kolejki i czas oczekiwania w kolejce.

3. ANALIZA ROZKŁADU CZASÓW OBSŁUGI JEDNOSTEK NA STANOWISKACH

Biorąc pod uwagę rozważania dotyczące prostych systemów kolejkowych oraz elementy infrastruktury występujące w CL, na potrzeby badań model CL przedstawiono w postaci sieci kolejkowej (rys. 3.). Przy czym przez sieć kolejkową, jest rozumiany zbiór systemów kolejkowych, powiązanych ze sobą, pomiędzy którymi przemieszczają się zgłoszenia realizując zapotrzebowanie na obsługę.

Mając zadaną wielkość przekształceń realizowanych w centrum logistycznym należy wyznaczyć wielkość i charakter rozkładu strumienia zgłoszeń dla różnych rodzajów środków transportowych będących w analizowanym przykładzie klientami. Jednocześnie przyjmujemy, że pod nazwą rodzaju środka transportowego rozumiemy nie tylko jego typ (pociąg, samochód) ale również inne informacje np. czy pojazd jest w tranzycie. Zakładamy, zatem, że w CL używane są różnorodne rodzaje środków transportowych, m.in. samochody w tranzycie, zestawy ciągników i naczep siodłowych z kontenerami oraz innymi rodzajami jednostek intermodalnych, pojazdy z paletami, a także pociągi towarowe z jednostkami intermodalnymi i jednostkami paletowymi podlegające rozładunkowi bądź przeładunkowi.

Biorąc pod uwagę powyższe, w analizowanej sieci (rys 3), mamy dwa wejścia przy czym każde z wejść charakteryzuje się intensywnością zgłoszeń dla każdego z klientów λ . Analizując rozkłady: wejściowe strumienia zgłoszeń pojazdów do sieci oraz czasy obsługi zgłoszeń stwierdzono, że rozkłady te są rozkładami typu normalnego oraz, w większości, rozkładami wykładniczymi. Stąd w dalszej części artykułu ograniczono się do zaprezentowania modeli systemów kolejkowych opartych o tego typu rozkłady. W badanym centrum logistycznym występują dwa typy systemów kolejkowych: M/M/1/FIFO/∞ i M/M/1/FIFO/1. Oba te systemy są szczególnymi przypadkami wcześniej wspomnianego systemu M/M/n/FIFO/∞,



Rys. 3. Schemat blokowy sieci kolejek w centrum logistycznym

Źródło: opracowanie własne

Przyjęto, że rozkłady prawdopodobieństwa dla opisu odstępów między kolejnymi zgłoszeniami oraz wielkości zgłoszeń dla poszczególnych klientów są opisane rozkładem wykładniczym oraz normalnym. Pierwszy z nich w notacji A. M. Lee [9] ma postać:

$$M / M / 1 / FIFO / \infty \quad (2)$$

Gęstość prawdopodobieństwa dla rozkładu wykładniczego jest dana wzorem

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$

dla każdego t większego od zera. Natomiast dla rozkładu normalnego

$$f(t) = \frac{e^{-\frac{t-\mu}{\sigma}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (4)$$

W analizowanym przypadku t-jest czasem. Charakterystyki liczbowe rozkładu zawarto w tab. 2.

Tabela 2. Rozkład czasów następstwa zgłoszeń oraz wielkości pojedynczego zgłoszenia dla klientów analizowanego systemu masowej obsługi

Symbol klienta	Czas następstwa zgłoszeń	Wielkość pojedynczego zgłoszenia
ST	Exp(1.91; 0.19)	Exp(1; 0.5)
CS+KR	Exp(2.1; 0.15)	Exp(1; 1)
CS+KP	Exp(1.96; 0.25)	Exp(1; 1)
CS+NZ	Exp(2.78; 0.25)	Exp(1; 1.5)
CS+NP	Exp(1.4; 0.64)	Exp(1; 1.5)
PTKP	Exp(24; 1.2)	Normal(31; 0.3)
PTCP	Exp(48; 1.3)	Normal(28; 0.3)
PTKZ	Exp(24; 1)	Normal(29; 0.51)
PTZR	Exp(24; 2)	Normal(30; 0.1)
PTZP	Exp(24; 1.5)	Normal(27; 0.3)

Źródło: opracowanie własne.

Dla poprawnej oceny działania analizowanego centrum logistycznego identyfikacja procesów, w których dokonywane jest przekształcenie strumienia ładunków wejściowych opisanych w tabeli 2 w strumień wyjściowy. Podstawową charakterystyką stanowisk obsługi jest średni czas, jaki zajmuje

obsługa danego klienta. założono, że czasy obsługi klientów na poszczególnych stanowiskach podlegają rozkładowi wykładniczemu. Jak wspomniano wcześniej czas obsługi jest jedną z ważniejszych charakterystyk każdego stanowiska obsługi i określa jego zdolność przepustową. Wielkość czasu obsługi T_0 należy uważać za zmienną losową o rozkładzie

$$F(t) = P T_0 < t \quad (5)$$

Dla rozkładu wykładniczego, z którym mamy do czynienia w analizowanej sytuacji dystrybuanta ma postać:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (6)$$

przy czym $\lambda = \frac{1}{T_0}$ T_0 jest średnim czasem obsługi jednego zgłoszenia. Czas upływający między kolejnymi zgłoszeniami o rozkładzie wykładniczym wynosi

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

Czasy obsługi na wybranych stanowiskach oraz ich rozkłady a także czynności na nich wykonywane i liczbę miejsc w poczekalni przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Czas obsługi na stanowisku na poszczególnych stanowiskach.

Stanowisko	Rodzaj klas obsługiwanych na stanowisku	Czas obsługi	Rozkład prawdopodobieństwa czasu obsługi	Czynności	Liczba miejsc w poczekalni
Brama wjazdowa dla samochodów (PWES)	ST, CS+KR, CS+KP, CS+NP	5 min.	exp(0,083; 0,0069) h	1) zarejestrowanie ładunku wchodzącego z CL ³ ; 2) oględziny stanu technicznego j. ładunkowej ¹ ; 3) kontrola dokumentów; 4) wskazanie miejsca obsługi.	15
	CS+NZ	2 min.	exp(0,0333; 0,0011) h		
Brama wjazdowa dla pociągów (PWEK)	PTKZ, PTKP, PTZR, PTZP	3 min / 28 wag..	exp(0,0018; 0,000003) h	1) zarejestrowanie ładunku; 2) skierowanie na odpowiedni tor przyjazdowy;	40
Tor przyjazdowy (TP)	PTKP, PTZR, PTZP	27 min / 28 wag..	exp(0,0161; 0,00026) godzin	1) zdjęcie sygnału końca pociągu, odłączenie pojazdu trakcyjnego; 2) przekazanie składu i oględziny stanu technicznego wagonów kolejowych ⁴ ; 3) doczepienie lokomotywy manewrowej.	40
	PTKZ, PTKP	20 min / 28 wag..	exp(0,0119; 0,00015) h		
Plac postojowy (PP)	ST	10 godz. / 50 miejsc.	exp(0,2; 0,04) godzin	1) zaparkowanie; 2) korzystanie z miejsca postojowego; 3) uruchomienie pojazdu i wyjazd z placu postojowego	25
Plac składowania kontenerów (PSK)	CS+KR	8 min.	exp(0,133; 0,0178) h	1) ustawienie suwnicy w pozycji zgodnej z wagonem (lub samochodem); 2) uchwycenie kontenera przez suwnicę; 3) podniesienie i przemieszczenie kontenera na plac składowania; 4) ruch powrotny suwnicy.	ciągnik siodłowy (parking) – 25;
	CS+KP	16 min.	exp(0,266; 0,0708) h		
	PTKZ	7 min.	exp(0,1167; 0,0136) godzin		
	PTCP, PTKP	14 min	exp(0,2333; 0,05444) h		wagon kol. (TO) – 120
Obiekt magazynowy 1 (M1)	CS+NZ	30 min.	exp(0,05; 0,0025) h	1) podstawienie samochodu pod rampę przeładunkową; 2) wystawienie lub (i) wstawienie jłp z naczepy siodłowej i wstępna kontrolą ilościową; 3) odjazd samochodu od rampy	25
	CS+NP	60 min.	exp(0,1; 0,01) h		

³ Tylko samochody z ładunkiem.

⁴ Dotyczy wagonów z ładunkiem.

Tabela 3. c.d.

Stanowisko	Rodzaj klas obsługiwanych na stanowisku	Czas obsługi	Rozkład prawdopodobieństwa czasu obsługi	Czynności	Liczba miejsc w poczekalni
Obiekt magazynowy 2 (M2)	PTZR	24 minut	exp(0,04; 0,0016) h	1) podstawienie grupy wagonów pod rampę przeładunkową; 2) wystawienie lub (i) wstawienie jłp z wagonów wraz z wstępną kontrolą ilościową;	120
	PTZP	48 minut	exp(0,08; 0,0064) h	3) odstawienie grupy wagonów na tor wyjazdowy.	
Tor wyjazdowym (TW)	PTKZ, PTKP, PTZP	27 min / 28 wag.	exp(0,0161; 0,00026) h	1) odłączenie i odjazd lokomotywy manewrowej;	40
	PTZR	20 min / 28 wag.	exp(0,0119; 0,00015) h	2) zjazd i połączenie lokomotywy pociągowej; 3) sprawdzenie plomb i oględziny techniczne ⁵ ; 4) założenie sygnału końca pociągu; 5) szczegółowa próba hamulców; 6) wyrejestrowanie ładunku; 7) wyjazd pociągu z grupy torów odjazdowych.	
Brama wjazdowa dla samochodów (WYS)	ST, CS+KP, CS+NZ, CS+NP	5 min.	exp(0,083; 0,0069) h	1) wyrejestrowanie ładunku wychodzącego CL ⁶ ;	3
	CS+KR	2 min.	exp(0,0333; 0,0011) h	2) oględziny stanu technicznego jednostki ładunkowej; 3) wyjazd samochodu na drogę zewnętrzną;	
Brama wjazdowa dla pociągów (WYK)	PTKP, PTZR, PTZP, PTKZ, PTKP	27 min / 28 wag.	exp (0,0018; 0,000003) h	1) wyrejestrowanie ładunku wychodzącego z CL ⁷ ; 2) oględziny stanu technicznego jednostki ładunkowej; 3) wyjazd pociągu na tory ogólnego przeznaczenia;	40

Źródło: opracowanie własne.

4. ANALIZA WYNIKÓW PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Charakterystyki opisane w punkcie 2. i 3. były podstawą do określenia danych dla programu WinQSB przy pomocy, którego przeprowadzono symulację działania centrum logistycznego w okresie 20-tu dni.

Z analizy przeprowadzonych symulacji wynika, że badane centrum logistyczne pracuje bez zakłóceń, lecz jego obciążenie stanowisk jest bardzo małe. Zwiększając stopniowo obciążenie, dokonano badań, na ile można zwiększyć obciążenie centrum logistycznego, aby zapewniając większe wykorzystanie jego mocy przerobowych nie doprowadzić do powstania nadmiernych zakłóceń w przepływie ładunków przez takie centrum. Ponadto przeprowadzono symulację pracy centrum logistycznego uwzględniając czasy przemieszczania pojazdów między poszczególnymi stanowiskami obsługi (tab. 4).

Tabela 4. Czasy przejścia połączeń pomiędzy stanowiskami obsługi dla poszczególnych klientów

Połączenie	Czas przejścia	
	Minuty	Godziny
Brama wjazdowa dla samochodów (WES) – parking (P)	2	0,033
Plac postojowy (PP) – brama wyjazdowa (WYS)	1	0,0167
Plac składowania kontenerów (PSK) – brama wyjazdowa (WYS)	3	0,05
Obiekt magazynowy 1 – brama wyjazdowa (WYS)	1/28 wagonów	0,0167
Brama wjazdowa dla pociągów (WEK) – tor przyjazdowy (TP)	2/28 wagonów	0,0012
Tor przyjazdowy (TP) – tor odstawczy (PTO)	4/28 wagonów	0,0024
Tor wyjazdowy (TW) – brama wyjazdowa dla pociągów (WYK)	1/28 wagonów	0,0006

Źródło: opracowanie własne.

⁵ Dotyczy pociągu z ładunkiem.

⁶ Tylko samochody z ładunkiem.

⁷ Tylko samochody z ładunkiem.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki symulacji. Natomiast tabele 6. i 7. zawierają wyniki analizy stanowisk obsługi oraz kolejek występujących w centrum logistycznym

Tabela 5. Wyniki symulacji

Lp	Result	CS+NZ	CS+KR	CS+KP	CS+NP	ST	PTKZ	PTCP	PTZR	PTKP	PTZP	Overall
1	Total Number of Arrival	328	434	421	348	560	557	250	523	540	488	4449
2	Total Number of Balking	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Average Number in the System (L)	0.1647	0.2921	0.2762	0.2900	0.4531	0.8788	0.2101	0.9834	0.3079	1.1626	5.0188
4	Max. No. in the System	5	8	5	8	9	31	28	30	30	28	182
5	Current No. in the System	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	29
6	Number Finished	341	446	432	368	587	556	250	492	510	438	4420
7	Average Process Time	0.1489	0.1890	0.1957	0.2326	0.2369	0.0320	0.0320	0.0736	0.0363	0.1229	0.1309
8	Std. Dev. of Process Time	0.0297	0.0357	0.0701	0.0561	0.1041	0.0003	0.0003	0.0016	0.0004	0.0062	0.0933
9	Aver. Waiting Time (Wq)	0.1476	0.1771	0.1797	0.2546	0.2554	0.7243	0.3713	0.8263	0.2509	1.0358	0.4376
10	Std. Dev. of Waiting Time	0.2660	0.2660	0.3181	0.3339	0.4407	0.6276	0.4485	0.6385	0.1522	0.6199	0.5464
11	Average Transfer Time	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Std. Dev. of Transfer Time	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Average Flow Time (W)	0.2889	0.3544	0.3680	0.4601	0.4705	0.7567	0.4033	0.9005	0.2872	1.1588	0.5610
14	Std. Dev. of Flow Time	0.2399	0.2558	0.3462	0.2664	0.3841	0.6281	0.4484	0.6407	0.1522	0.6204	0.5239
15	Maximum Flow Time	2.1171	2.2575	2.7420	2.1475	3.3893	2.5242	1.8311	3.4125	0.7428	2.4498	3.4125

Źródło: opracowanie własne na podstawie WinQSB.

Tabela 6. Wyniki analizy stanowisk obsługi centrum logistycznego.

Lp.	Server Name	Server Utilization	Average Process Time	Std. Dev. Process Time	Maximum Process Time	Blocked Percentage	#Customers Processed
1	WES	35.43%	0.0813	0.0212	0.1297	0.00%	2091
2	WEK	0.88%	0.0018	0.0000	0.0018	0.13%	2353
3	TP	7.22%	0.0149	0.0021	0.0176	0.00%	2330
4	PP	7.08%	0.0470	0.0959	0.3394	0.00%	723
5	PSK	1.07%	0.0619	0.1114	0.4449	0.00%	83
6	M1	5.74%	0.0214	0.0389	0.1431	0.00%	1285
7	M2	12.15%	0.0260	0.0342	0.1270	0.02%	2247
8	TW	7.22%	0.0149	0.0034	0.0181	0.00%	2329
9	WYS	39.27%	0.0901	0.0069	0.1328	0.00%	2091
10	WYK	0.84%	0.0017	0.0003	0.0018	0.00%	2329
	Overall	11.69%	0.0314	0.0421	0.4449	0.01%	17861

Źródło: opracowanie własne na podstawie WinQSB.

Tabela 7. Wyniki analizy kolejek występujących w centrum logistycznym.

Lp.	Queue Name	Average Q. Length (Lq)	Current Q. Length	Maximum Q. Length	Average Waiting (Wq)	Std. Dev. of Wq	Maximum of Wq
1	PWES	0.4726	0	12	0.1085	0.1340	1.0102
2	PWEK	0.1406	4	40	0.0286	0.0320	0.4585
3	P	0.0001	0	1	0.0000	0.0008	0.0274
4	PTP	1.0290	22	40	0.2117	0.1383	0.6560
5	TO	1.8217	0	63	0.3753	0.4970	2.2124
6	PWYS	0.1152	0	3	0.0265	0.0438	0.2744
7	PTW	0.2694	0	40	0.0555	0.1176	0.6555
8	PWYK	0.0001	0	1	0.0000	0.0002	0.0018
	Overall	3.8488	26	63	0.1029	0.2330	2.2124

Źródło: opracowanie własne na podstawie WinQSB.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają zasadność użycia teorii kolejek do analizy złożonych węzłów logistycznych. Natomiast program WinQSB (Windows Quantitative System for Business) wykorzystany do badań, pozwala na wierne odwzorowanie wszystkich stanowisk obsługi będących elementami CL. Po przeprowadzeniu wielu przykładów można stwierdzić, że środowisko programu WinQSB pozwala na intuicyjne użycie.

Z analizy wynika, że połączenie tor odstawczy - plac składowania kontenerów oraz połączenia plac składowania kontenerów tor wyjazdowy, że wyodrębnianie dla tych połączeń czasów przejścia nie jest celowe, ponieważ lokomotywa manewrowa, aby podstawić do rozładunku nową grupę wagonów, musi najpierw odstawić grupę już rozładowaną na tor wyjazdowy. Dokonując oceny pracy centrum logistycznego należy zauważyć, że zarówno czas obsługi poszczególnych jednostek ładunkowych na stanowiskach obsługi, jak i czasy przejścia istotnie wpływają na wyposażenie oraz rozmiar danego centrum logistycznego.

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie teorii kolejek (masowej obsługi) do analizy przepływu ładunków w centrum logistycznym. Zidentyfikowano podstawowe pojęcia dotyczące teorii kolejek. Przedstawiono model procesu przemieszczania jednostki ładunkowej w centrum logistycznym w notacji teorii kolejek. Dla zilustrowania zagadnienia przeanalizowano przykład dwuwęściowej, pięciostopniowej sieci kolejkowej.

Słowa kluczowe: modelowanie, proces transportowy, teoria kolejek, centrum logistyczne.

Applying queuing theory to analyze and evaluate transportation process in logistics center

Abstract

The article presents an application of queuing theory (mass service) to describe transportation process. Article presents the essential concepts of the queuing theory. The process of moving a load unit through the logistics center was presented. To illustrate the issues an example of five-level, two-input queuing networks was examined.

Key words: modeling, transport processes, queuing theory, logistics center.

LITERATURA

- [1] Ambroziak T., Jacyna M.: Wybrane aspekty modelowania dynamiki procesów transportowych, Prace Naukowe PW, TRANSPORT, z. 53, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [2] Bhaskar V., Lallement P.: Modeling a supply chain using a network of queues. Applied Mathematical Modelling Volume 34, Issue 8, August 2010,
- [3] Centra logistyczne na Mazowszu
- [4] Fijałkowski J. „Transport wewnętrzny w systemach logistycznych” Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2000
- [5] Filipowicz B Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych. Analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1996
- [6] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1977.
- [7] Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowanie systemów i procesów transportowych Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1999.
- [8] Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2009
- [9] Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych Oficyna Wydawnicza PW Warszawa 2009
- [10] Mindur L. „Centra logistyczne w Polsce i perspektywy ich rozwoju” Materiały Kongresowe Logistics 2000 Poznań 2000 r.
- [11] Woch J. Statystyka procesów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2001.
- [12] Żak Jolanta. Parametryzacja elementów procesu transportowego. Logistyka 4/2011.