

WASIAK Mariusz<sup>1</sup>

## Optymalizacja potencjału podsystemu obsługi transportowo-magazynowej przedsiębiorstwa

### WSTĘP

Coraz większa złożoność procesów logistycznych oraz powiązana z ich realizacją niepewność zmuszają do stosowania zaawansowanych metod obliczeniowych wspieranych technikami informatycznymi w zakresie akwizycji danych w czasie rzeczywistym, jak również ich późniejszej obróbki statystycznej. W metodach tych należy z oczywistych względów zachować kompromis między ich złożonością obliczeniową a jakością uzyskiwanych rozwiązań. Niezbędne jest również uwzględnianie zjawiska niepewności w realizacji procesów logistycznych [9].

Obecnie można stwierdzić istnienie zaawansowanych narzędzi telematycznych oraz informatycznych umożliwiających obserwację w czasie rzeczywistym przebiegu procesów logistycznych oraz zapewniających wsparcie decyzyjne w przypadku odchylenia realizacji procesu od założeń planistycznych. Natomiast ciągłego rozwoju wymagają metody numeryczne umożliwiające optymalizację przebiegu procesów logistycznych, w tym zwłaszcza metody pozwalające odwzorować niepewności towarzyszące realizacji procesów logistycznych.

W artykule przedstawiono propozycję stosowania opisanego w [14] modelu optymalizacji potencjału systemów logistycznych do wyznaczania potencjału technicznego i ludzkiego podsystemu obsługi transportowo-magazynowej przedsiębiorstwa. Opisane podejście zakłada wykorzystanie w tym zakresie optymalizacji statycznej, w której parametry modelu mogą być definiowane za pomocą rozkładów zmiennych losowych (podczas obliczeń możliwe jest generowanie zmiennych losowych lub uwzględnianie wartości średnich). Umożliwia to np. odwzorowanie niepewności co do wielkości przyszłego zamówienia, czy też czasu realizacji zadania przewozowego (niemożliwego do przewidzenia np. ze względu na ciągle zmieniające się warunki ruchowe).

W artykule potencjał systemu logistycznego jest rozumiany jako jego zasoby wraz z relacjami między nimi oraz zasady organizacji pracy, które umożliwiają realizację określonych przekształceń strumieni ładunków i związanych z nimi informacji [14, s. 22]. Przy czym zasoby w ujęciu najbardziej ogólnym utożsamiane są ze środkami, jakie są konieczne do osiągnięcia założonego celu [6, s. 14], którym w badanym przypadku jest właściwa realizacja przekształceń strumieni ładunków oraz informacji<sup>2</sup>. Natomiast zakres przekształceń strumieni ładunków i strumieni informacji w obszarze systemu logistycznego określa zadanie logistyczne [2, s. 196, 173-174].

Biorąc pod uwagę powyższe, realizacja zadań przez dany system wymaga, aby dysponował on niezbędnymi możliwościami w tym zakresie [5], przy czym możliwości te i ich wykorzystanie rozumiane są jako potencjał logistyczny.

Rolą logistyki jest dążenie do wzrostu efektywności ekonomicznej przepływów materiałowych występujących w gospodarce oraz poziomu ich realizacji [por. z 20, s. 114].-Stosuje się zatem różne metody, aby określić wymagany potencjał systemu logistycznego (np. [2, ss. 269], [8, s. 310-327], [11, s. 703-711, 717-728]). Są to zarówno klasyczne metody stosowane w inżynierii systemów logistycznych, a także różne metody modelowania.

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

<sup>2</sup> Porównaj też z [1, s. 71-78].

## 1 OGÓLNY MODEL OPTIMALIZACJI POTENCJAŁU SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH

Potencjał systemu logistycznego musi być adekwatny do zadania logistycznego określonego dla danego systemu logistycznego. Przyjęto zatem, że obsługa strumieni ładunków i strumieni informacji w systemie logistycznym wynikająca z postawionego przed nim zadania logistycznego  $ZL$  wymaga, aby system ten dysponował odpowiednią strukturą  $GS$  opisaną pewnymi charakterystykami  $FS$ . Charakterystyki elementów struktury systemu logistycznego wynikają z dysponowanych zasobów  $ZO$ . Ponadto należy zauważyć, że w każdym systemie logistycznym możliwe jest wyspecyfikowanie pewnych zasad realizacji zadania logistycznego  $ZR$ . Zasady te ujmowane są w ograniczeniach oraz kryteriach optymalizacji systemów logistycznych. Uwzględniając wymienione elementy, model systemu logistycznego  $MSL$  zdefiniowano, jako uporządkowaną piątkę postaci [14, s. 65 i dalsze]<sup>3</sup>:

$$MSL = \langle ZL, ZO, GS, FS, ZR \rangle \quad (1)$$

Przyjmując dyskretyzację czasu zbiór  $T$  numerów chwil zdefiniowano następująco:

$$T = \{t : t = 1, \dots, \bar{T}\}$$

Realizowane w systemie logistycznym zadanie logistyczne polega na przekształcaniu strumieni ładunków wchodzących do tego systemu w strumienie ładunków z niego wychodzące. Obsługiwane w systemie logistycznym rodzaje ładunków zapisano w zbiorze  $R = \{r : r = 1, \dots, \bar{R}\}$ , zaś dokonywane na nich przekształcenia w zbiorze  $P = \{p : p = 1, \dots, \bar{P}\}$ . Przyjęto możliwość dekompozycji zbioru  $P$  na zbiór przekształceń ze względu na postać  $PP$ , czas  $PT$  i miejsce  $PM$ .

Wielkość stawianych przed systemem logistycznym zadań wynika z ilości ładunków poszczególnych rodzajów, które powinny być obsłużone przez ten system zapisanych w macierzy  $QZ$  oraz z koniecznego zakresu ich przekształceń (zbiór  $P$ ). Zadanie logistyczne  $ZL$  stawiane przed systemem logistycznym zdefiniowano następująco:

$$ZL = \langle QZ, P \rangle \quad (2)$$

przy czym  $QZ = [qz_z^{r,t} \in \mathcal{N} : z \in Z, r \in R_z, t \in T]$  jest macierzą zgłoszeń strumieni ładunków, które elementy  $qz_z^{r,t}$  mają interpretację wielkość zgłoszenia w chwili  $t$  ładunku  $r$ -tego rodzaju w  $z$ -tym źródle.

Przyjmując, że znane są rodzaje zasobów technicznych jakie mogą być stosowane w systemie logistycznym  $S = \{s : s = 1, \dots, \bar{S}\}$ , rodzaje zasobów ludzkich  $L = \{l : l = 1, \dots, \bar{L}\}$  i zasady organizacji pracy (zmiany pracy)  $ZM = \{zm : zm = 1, \dots, \bar{ZM}\}$ , a także zbiory charakterystyk elementów tych zasobów i zasad oznaczone jako  $FL$ ,  $Fs$ ,  $FZM$ , dysponowane zasoby  $ZO$  zdefiniowano następująco:

$$ZO = \langle L, FL, S, Fs, ZM, FZM \rangle \quad (3)$$

System logistyczny w skali makro i mezo składa się ze zbioru obiektów powiązanych obsługą transportową. Obiekty te są miejscami, w których strumienie materiałów są produkowane, przechowywane, sortowane, sprzedawane lub zużywane [3, s. 1]. Struktura systemu logistycznego wynika z lokalizacji obiektów i wyodrębnionych w nich obszarów funkcjonalnych  $AS$ , przy czym zarówno

<sup>3</sup> W artykule zamieszczono jedynie postać ogólną modelu. Pominięto rodzaje charakterystyk określonych na elementach modelu, jak również zmienne decyzyjne, ograniczenia i kryteria oceny potencjału systemów logistycznych. Kompletny model ogólny oraz sformułowane zadania optymalizacyjne można znaleźć w [14]. Natomiast wybrane elementy tego modelu oraz problemy badawcze dla różnych sytuacji decyzyjnych rozwiązane z zastosowaniem tego modelu można znaleźć m.in. w: [12], [15], [17].

obiekty logistyczne, jak te obszary powiązane są ze sobą relacjami  $RS$ . Mając na względzie ten fakt, strukturę systemu logistycznego  $GS$  formalnie zdefiniowano następująco:

$$GS = \langle AS, RS \rangle \quad (4)$$

Obszary funkcjonalne, w których realizowane są przekształcenia strumieni ładunków ze względu na postać oraz ze względu na czas organizowane są w formie wydzielonych stref. Natomiast obszary funkcjonalne, w których realizowane są przekształcenia strumieni ładunków ze względu na miejsce w praktyce stanowią połączenia między tymi strefami.

W zbiorze  $AS$  elementów systemu logistycznego wyróżniono źródła strumieni ładunków  $Z = \{z : z = 1, \dots, \bar{Z}\}$  oraz strefy  $W = \{w, w' : w, w' = 1, \dots, \bar{W}\}$ , w których są realizowane przekształcenia ze względu na postać i czas. Zbiór  $W$  został zdekomponowany na zbiór obszarów funkcjonalnych, w których są realizowane przekształcenia strumieni ze względu na postać  $WP$  oraz zbiór obszarów funkcjonalnych, w których są realizowane przekształcenia strumieni ze względu na czas  $WT$ . Zatem:

$$AS = Z \cup W = Z \cup WP \cup WT, \text{ przy czym } Z \cap WP = \emptyset, WP \cap WT = \emptyset, Z \cap WT = \emptyset \quad (5)$$

Zbiór  $RS$  połączeń między elementami systemu zdekomponowano na zbiór połączeń między źródłami strumieni ładunków a wyróżnionymi w systemie strefami  $RS_{zw} = \{(z, w) \in Z \times W\}$  oraz zbiór połączeń między wyróżnionymi strefami  $RS_{ww} = \{(w', w) \in W \times W : w \neq w'\}$ . Ponadto w zbiorze  $RS$  wyróżniono zbiór połączeń występujących między elementami systemu, które odwzorowują przekształcenia strumieni ładunków ze względu na miejsce  $RM$  oraz zbiór połączeń formalnych między elementami systemu  $RF$ .

Zbiór charakterystyk elementów struktury systemu logistycznego  $FS$  jest sumą zbioru charakterystyk źródeł strumieni ładunków  $F_z$ , obszarów funkcjonalnych, w których są realizowane przekształcenia ze względu na postać  $F_{WP}$ , czas  $F_{WT}$  oraz miejsce  $F_{RM}$ , a także zbioru charakterystyk połączeń formalnych między strefami systemu  $F_{RF}$ , tj.:

$$FS = F_z \cup F_{WP} \cup F_{WT} \cup F_{RM} \cup F_{RF} \quad (5)$$

Opisany model systemu logistycznego w porównaniu z modelami istniejącymi (np. [4, s. 11.16-11.17], [5, s. 142-147], [7, s. 370-373], [10, s. 15.3-15.5], [11, s. 703-711, 717-728], [19, s. 394-397]) charakteryzuje się następującymi zaletami:

- możliwość uwzględnienia przekształceń strumieni ładunków ze względu na czas, miejsce i postać, przy czym zapewniono możliwość odwzorowania w przekształceniu ze względu na postać przekształcenie maksymalnie dwóch różnych strumieni ładunków o zadanej intensywności w maksymalnie dwa inne strumienie ładunków,
- duża szczegółowość odwzorowania zasobów technicznych oraz ludzkich wraz z powiązaniem między tymi zasobami, w tym możliwość definiowania dla środków pracy wielu stanowisk pracy oraz określania dla tych stanowisk pracowników, którzy mogą stanowić ich obsługę,
- odwzorowanie struktury systemu logistycznego przy uwzględnieniu obszarów funkcjonalnych systemu logistycznego, w których realizowane są przekształcenia strumieni ładunków ze względu na postać, miejsce oraz ze względu na czas,
- odwzorowanie możliwości jednoczesnej realizacji wielu przekształceń strumieni ładunków, np. przemieszczanie wózkami widłowymi w jednym cyklu jednocześnie dwóch jednostek ładunkowych.

## 2 ZAŁOŻENIA OPTYMALIZACJI STATYCZNEJ POTENCJAŁU SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH

W zadaniu optymalizacji statycznej uwzględniono model ogólny opisany w poprzednim rozdziale. W zapisie matematycznym wzięto zatem pod uwagę m.in.<sup>4</sup>:

- przekształcenia strumieni ładunków ze względu na czas, miejsce i postać oraz strefy funkcjonalne, w których te przekształcenia są realizowane,
- specyfikę doboru środków pracy oraz zasobów ludzkich, w których wyróżniani są pracownicy do realizacji prac fizycznych oraz operatorzy urządzeń, a także zmienność pracy systemu.

Dla modelu statycznego przyjęto, że znany jest opis struktury systemu zgodny z zaproponowanym formalizmem. Znane są także rodzaje obsługiwanych przez ten system strumieni ładunków, a także dokonywane na nich przekształceń. Ponadto przyjęto, że znane są możliwe do zastosowania w systemie środki pracy oraz pracownicy do realizacji prac fizycznych i operatorzy środków pracy, jak również ich charakterystyka obejmująca m.in. koszty stałe utrzymania, koszty zmienne eksploatacji, nakłady inwestycyjne, przewidywane okresy eksploatacji, wskaźniki gotowości technicznej oraz ich przeznaczenie. Znane są również zmiany pracy możliwe do przyjęcia w systemie wraz z godzinami ich rozpoczęcia i zakończenia, jak również charakterystyki elementów struktury systemu.

W modelu statycznym przyjęto, że zadanie logistyczne postawione przed systemem wyraża wielkość przekształceń strumieni ładunków poszczególnych rodzajów, która w ciągu roku musi zostać w tym systemie zrealizowana, przy czym zmienność tych przekształceń w poszczególnych chwilach jest pomijana. Uwzględniany jest natomiast współczynnik spiętrzeń dobowych.

W ujęciu ogólnym przyjęto, że strumienie ładunków zgłaszające się do systemu w poszczególnych dobach muszą być w tych dobach obsłużone, zaś np. godzinowe zapotrzebowania na realizację przekształceń strumieni ładunków oraz wydajności systemu nie muszą być do siebie dopasowane. Zatem w poszczególnych dobach mogą występować okresy zwiększonego zapotrzebowania na realizację przekształceń strumieni ładunków, w których nie będzie możliwa płynna realizacja tych przekształceń. Niemniej jednak w badaniach realizowanych za pomocą modelu zamiast doby może być uwzględniany inny okres o dowolnej długości (np. zmian robocza lub godzina szczytowa).

Przyjęte podejście ze względu na pominięcie spiętrzeń godzinowych może doprowadzić do niedowymiarowania systemu. Natomiast ze względu na możliwość występowania szczytowych obciążeń poszczególnymi ładunkami w różnych okresach (dobach), może prowadzić do przewymiarowania systemu. Zatem dla lepszego odwzorowania zmienności obciążenia systemu potokami ładunków można wprowadzać do modelu dodatkowe współczynniki nierównomierności spiętrzeń ładunków oraz jednoczesności spiętrzeń ładunków w elementach wyposażenia systemu.

W parametrach modelu zależnych od czasu, na potrzeby sformułowania zadania optymalizacji statycznej, zależność ta została wyeliminowana. Ponadto założono, że dla systemu znana jest liczba dni jego pracy w roku  $N_{DR}$  oraz akceptowalny przez inwestorów poziom nakładów inwestycyjnych  $N$  na zasoby systemu.

Przyjęto, że model statyczny optymalizacji potencjału systemu logistycznego będzie umożliwiał wyznaczenie:

- rodzaju i liczby środków pracy, które powinny stanowić wyposażenie systemu logistycznego,
- rodzaju i liczby pracowników do realizacji poszczególnych przekształceń strumieni bez zastosowania środków pracy, wymaganych dla poszczególnych zmian pracy przy założeniu równomiernego obciążenia przekształceniami strumieni ładunków w ciągu doby,
- rodzaju i liczby operatorów środków pracy wymaganych dla kolejnych zmian pracy przy równomiernym obciążeniu przekształceniami strumieni ładunków w ciągu doby,
- obciążenia środków pracy i pracowników przekształceniami strumieni ładunków.

<sup>4</sup> Uproszczone podejście do modelowania statycznego potencjału systemów logistycznych, w którym, w przeciwieństwie do opisanego w artykule modelu, pominięto odwzorowania przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać oraz osobne rozpatrywanie zasobów technicznych i ludzkich przedstawiono m.in. w [13, s. 237-246], w [16, s. 75-83] oraz w [18, s. 7533-7543]

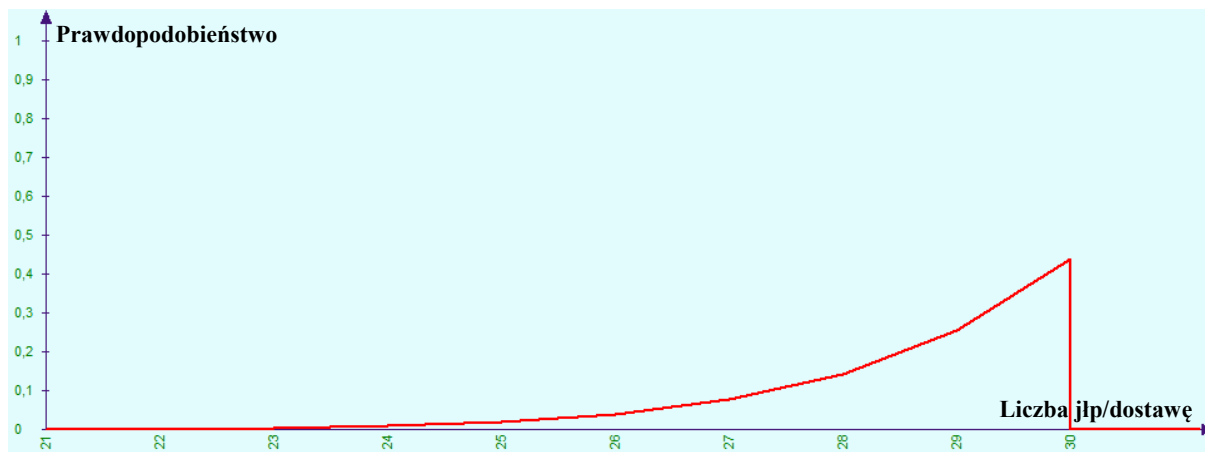
### 3 STUDIUM PRZYPADKU

#### 3.1 Identyfikacja danych

W artykule opisano przeprowadzoną optymalizację wymaganej liczby oraz rodzaju środków przewozowych, a także kierowców i pracowników ładunkowych oraz wymaganej pojemności magazynów w sieci dystrybucyjnej wybranego przedsiębiorstwa. Badane przedsiębiorstwo jest przedsiębiorstwem produkcyjnym, jednak zakres analizy jego obsługi transportowo-magazynowej został ograniczony do podsystemu dystrybucji, bowiem dowóz surowców jest realizowany przez dostawców przedsiębiorstwa oraz na ich koszt.

Jako rodzaje strumienia ładunków w badanym systemie logistycznym przyjęto zamówienia całopojazdowe (jest to w istocie strumień informacji inicjujący rozpatrywane w modelu przepływu strumieni dóbr materialnych), wysyłki całopojazdowe, wysyłki częściowe oraz jednostki ładunkowe paletowe. W praktyce parametry tych jednostek ładunkowych paletowych dla poszczególnych asortymentów oferowanych przez przedsiębiorstwo są różne. W konsekwencji, głównie ze względu na różną masę jłp, w przestrzeni ładunkowej danego pojazdu może zmieścić się różna ich liczba. Fakt ten w modelu uwzględniono zakładając losowe parametry modelu dotyczące liczby jednostek ładunkowych znajdujących się w przestrzeni ładunkowej pojazdu określonego typu (patrz rysunek 1 i 2).

W badanym systemie dystrybucji występuje magazyn wyrobów gotowych zakładu produkcyjnego, trzy magazyny regionalne oraz 10 odbiorców hurtowych (zamawiających dostawy całopojazdowe) i 110 odbiorców zamawiających przesyłki częściowe. Średnio w ciągu doby w systemie realizowanych jest 26 dostaw całopojazdowych zawierających od 21 do 30 jłp oraz 72 dostaw częściowych zawierających zwykle od 3 do 13 jłp. W opracowanym modelu rozmiar dostaw całopojazdowych odwzorowano rozkładem potęgowym o parametrach (11, 19, 11), zaś rozmiar dostaw częściowych odwzorowano rozkładem Laplace o parametrach (8, 2). Funkcje gęstości przyjętych rozkładów prawdopodobieństwa przedstawiono na rysunku 1 i 2.



Rys. 1. Rozkład potęgowy o parametrach (11, 19, 11) – wielkość dostaw całopojazdowych [opracowanie własne – aplikacja OPoSLog 1.0]

W modelu uwzględniono następujące przekształcenia opisanych strumieni ładunków:

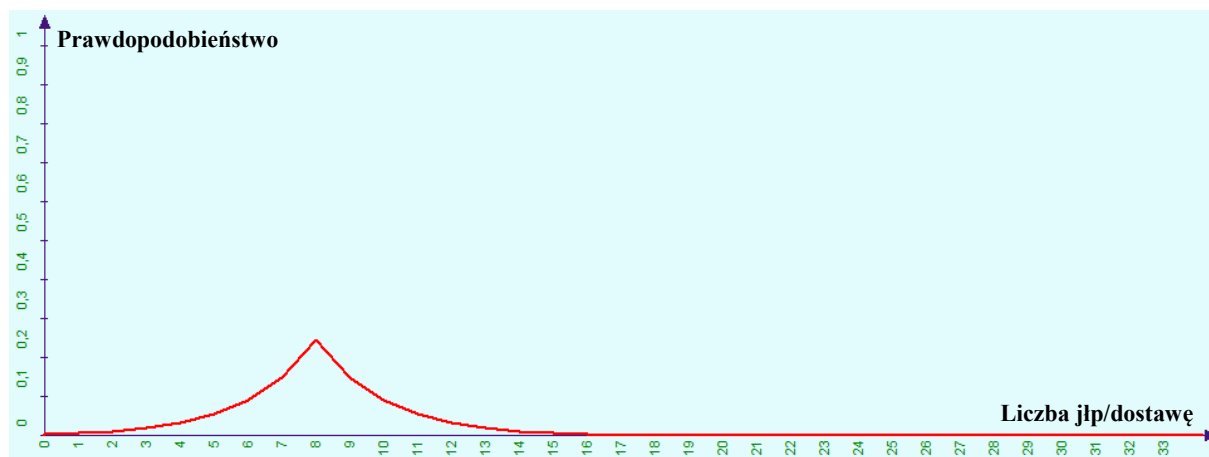
- realizacja zamówień całopojazdowych – jest to przekształcenie ze względu na postać (PP), w którym zamówienia oraz jłp są łączone w wysyłki całopojazdowe,
- rozładunek dostaw całopojazdowych – jest to przekształcenie ze względu na postać (PP), w którym wysyłki całopojazdowe są przekształcane na jłp,
- załadunek dostaw częściowych – jest to przekształcenie ze względu na postać (PP), w którym jłp są przekształcane w wysyłki częściowe,
- rozładunek dostaw częściowych – jest to przekształcenie ze względu na postać (PP), w którym wysyłki częściowe są przekształcane w jłp,
- składowanie – jest to przekształcenie ze względu na czas (PC), w którym obsługiwane są jłp,



- przewóz wysokotonażowy – jest to przekształcenie ze względu na miejsce (PM), w którym obsługiwane są wysyłki całopojazdowe,
- przewóz średnionażowy – jest to przekształcenie ze względu na miejsce (PM), w którym obsługiwane są wysyłki częściowe.

Strumienie ładunków przemieszczane są w relacjach:

- zakład produkcyjny – magazyny regionalne (wyłącznie dostawy całopojazdowe),
- zakład produkcyjny – klienci hurtowi zamawiający dostawy całopojazdowe,
- magazyny regionalne – klienci zamawiający dostawy częściowe.



Rys. 2. Rozkład Laplace'a o parametrach (8, 2) – wielkość dostaw częściowych [opracowanie własne – aplikacja OPoSLog 1.0]

Źródłem strumieni ładunków w badanym systemie jest magazyn wyrobów gotowych zakładu produkcyjnego przedsiębiorstwa, a węzły pośrednie w przepływie ładunków stanowią trzy magazyny regionalne. Klienci zamawiający dostawy całopojazdowe oraz częściowe potraktowano jako ujścia w przepływie strumieni ładunków przez badany system.

Mając na względzie dużą liczbę odbiorców i opisane wyżej odstępstwa w zakresie wielkości dostaw do poszczególnych klientów oraz częstotliwości realizacji dostaw (pod tym względem odstępstwa nie są duże), w modelu analizowanego systemu elementy te ujęto za pomocą zmiennych losowych dotyczących czasu realizacji dostaw (w praktyce zależnego od odległości przewozu i w mniejszym stopniu od liczby przewożonych jłp). Dzięki temu rzeczywistych odbiorców w modelu zastąpiono czterema odbiorcami zastępczymi (odbiorca magazynu wyrobów gotowych – OG, odbiorca magazynu regionalnego A – OA, odbiorca magazynu regionalnego B – OB oraz odbiorca magazynu regionalnego C – OC). Jako strefy badanego systemu przyjęto podukłady przeładunkowe na wyjściu z magazynu wyrobów gotowych oraz na wejściu i wyjściu magazynów regionalnych, a także strefy składowania magazynów regionalnych. Odwzorowanie opisanej struktury badanego podsystemu przedstawiono na rysunku 3.

Podsumowując w strukturze rozpatrywanego systemu wyróżnione zostało jedno źródło strumieni ładunków oraz 14 stref obsługi strumieni ładunków. Pierwszych 11 stref to strefy realizacji poszczególnych PŁP (P1 – P11), zaś kolejne strefy systemu to OPŁC (T1 – T3). Wśród połączeń między elementami systemu występuje 7 połączeń formalnych (w analizach pominięto potencjał podsystemów transportu wewnętrznego) oraz 7 połączeń odwzorowujących PŁM (M1 – M7).

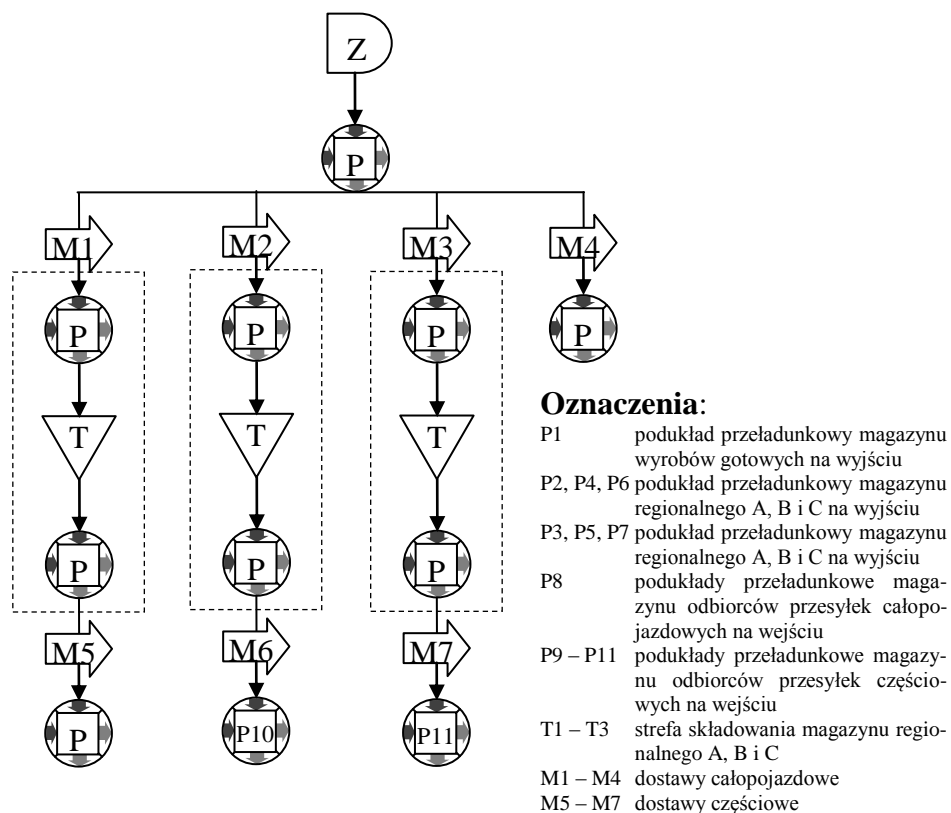
Uwzględniając powyższe struktura badanego systemu została zdefiniowana następująco:

$$GS = \langle AS, RS \rangle$$

gdzie:

$AS = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$  jest zbiorem elementów systemu logistycznego, a kolejne jego elementy interpretowane są jako (rysunek 3): Z1, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, T1, T2, T3 zatem:

$Z = \{1\}$  jest zbiorem źródeł strumieni ładunków,  
 $W = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$  jest zbiorem elementów punktowych systemu,  
 $WP = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$  jest zbiorem miejsc przekształceń strumieni ze względu na postać,  
 $WT = \{13, 14, 15\}$  jest zbiorem miejsc przekształceń strumieni ze względu na czas,  
 $RS = \{(1, 2), (2, 3), (2, 5), (2, 7), (2, 9), (3, 13), (4, 10), (5, 14), (6, 11), (7, 15), (8, 12), (13, 4), (14, 6), (15, 8)\}$ , jest zbiorem połączeń między elementami systemu logistycznego, a kolejne jego elementy interpretowane są jako (rysunek 3):  $(Z1, P1)$ ,  $M1, M2, M3, M4$ ,  $(P2, T1)$ ,  $M5$ ,  $(P4, T2)$ ,  $M6$ ,  $(P6, T3)$ ,  $M7$ ,  $(T1, P3)$ ,  $(T2, P5)$ ,  $(T3, P7)$ , zatem:  
 $RM = \{(2, 3), (2, 5), (2, 7), (2, 9), (4, 10), (6, 11), (8, 12)\}$  jest zbiorem połączeń odwzorowujących przekształcenia strumieni ze względu na miejsce,  
 $RF = \{(1, 2), (3, 13), (5, 14), (7, 15), (13, 4), (14, 6), (15, 8)\}$  jest zbiorem połączeń odwzorowujących powiązania formalne między elementami systemu.



Rys. 3. Struktura systemu obsługi transportowo-magazynowej badanego przedsiębiorstwa [14, s. 211]

Uwzględnione w badaniach do obsługi poszczególnych przekształceń strumieni ładunków następujące zasoby ludzkie oraz techniczne przedstawiono na rysunku 4 i 5.

Jak wynika z rysunku 5 w badaniach uwzględniono między innymi pojazdy członowe oraz samochody ciężarowe o ładowności równej około 10 t. W artykule uwzględniono aktualne wg stanu na październik 2014 r. ceny tych pojazdów oraz koszty ich posiadania i eksploatacji (w tym uwzględniono aktualną cenę paliwa). Ponadto co ważne o ile przewozy całopojazdowe mogą być realizowane jedynie pojazdami członowymi, to przewozy częściowe mogą być realizowane zarówno samochodami ciężarowymi średniotonażowymi, jak i pojazdami członowymi. Ustalono, że pojazd członowy przydzielony do obsługi przewozów częściowych może zrealizować przeważnie dwa takie przewozy w jednym cyklu, przy czasie takiego cyklu pracy będzie znacznie krótszy (o około 20%) niż czas realizacji samochodem średniotonażowym dwóch pojedynczych cykli przewozowych.

Zadanie logistyczne Rozważane zasoby Opcje Elementy systemu Połączenia między elementami

Pracownicy i zmiany pracy Środki pracy

### Kategorie pracy ludzkiej

Liczba kategorii pracy 4

Kod	Nazwa	Fizyczny	Roczny koszt	Koszt zmienny	N. na zatrud.	Okres zatrud.	Wsk. gotowości	Wsp.wyik. czasu
I1	Kierowca kategorii C+E	0	40300	0	2000	4	0,94	0,915
I2	Kierowca kategorii C	0	38100	0	2000	4	0,94	0,915
I3	Operator wózka unoszącego	0	35900	0	2000	3	0,94	0,915
I4	Pracownik klienta	0	0	0	0	3	0,94	0,915

### Obsługiwane strumienie

Liczba strumieni 4

Lp.	Nazwa strumienia
1	r4: Jednostki ładunkowe paletowe
2	r1: Zamówienia całopojazdowe
3	r2: Wysyłki całopojazdowe
4	r3: Wysyłki częściowe

### Rodzaje zmian pracy

Liczba zmian pracy 3

Kod	zm1	zm2	zm3
Opis	Zmiana 1	Zmiana 2	Zmiana 3
Godzina rozpoczęcia	6:00	14:00	0:00
Godzina zakończenia	14:00	22:00	24:00

Rys. 4. Zasoby ludzkie uwzględnione w modelu badanego systemu [aplikacja OPOsLog 1.0]

Dodatkowo wzięto pod uwagę możliwość obsługi samochodów średniotonażowych zarówno przez kierowców z uprawnieniami kat. C jak i przez kierowców z uprawnieniami C+E (rysunek 5). Przy czym, ze względu na odległości przewozu, w badaniach nie były brane pod uwagę wieloosobowe załogi kierowców.

Zadanie logistyczne Rozważane zasoby Opcje Elementy systemu Połączenia między elementami

Pracownicy i zmiany pracy Środki pracy

### Techniczne środki pracy

Liczba typów środków pracy 5

Kod	Nazwa	Roczny koszt	Koszt zmienny	Nakłady inv.	Okres ekspl.	Czas przebr.	Wsk. gotowości	Wsp.wyik. czasu
s1	Pojazd członowy	47200	1,162	552660	8	0	0,95	0,46
s2	Pojazd ciężarowy q10	20123	0,690	232190	8	0	0,95	0,46
s3	Wózek widłowy unoszący	12000	0,50	32000	8	0	0,95	1
s4	Gniazdo regałowe	100	0	1000	20	0	1	1
s5	Urządzenie ładunkowe klienta	0	0	0	10	0	0,90	1

### Obsługiwane strumienie

Liczba strumieni 2

Lp.	Nazwa strumienia
1	r2: Wysyłki całopojazdowe
2	r3: Wysyłki częściowe

### Obsługiwane przekształcenia strumieni

Liczba przekształceń 0

### Stanowiska pracy dla obsługi

Liczba stanowisk 1

Lp.	Nazwa stanowiska pracy
1	Kierowca

### Pracownicy do obsługi na danym stanowisku

Liczba kategorii pracy 1

Lp.	Nazwa kategorii pracy
1	I1: Kierowca kategorii C+E

Rys. 5. Zasoby techniczne uwzględnione w modelu badanego systemu [aplikacja OPOsLog 1.0]

Przyjęte charakterystyki zgłoszeń strumieni ładunków przedstawiono na rysunku 6 (oznaczenia rozkładów prawdopodobieństwa: RSt – stała, RNo – rozkład normalny, RBe – rozkład Beta).

### Źródło strumieni ładunków w1

Liczba strumieni 2

Zgłoszenia strumieni ładunków

 wg rozkładu prawdopodobieństwa  
 deterministyczny

Lp.	Nazwa strumienia	Zgłoszenia	Par. a	Par. b	Par. c	Par. p	Odstęp	Par. a	Par. b	Par. c	Par. p
1	r1: Zamówienia całopojazdowe	RSt	1	-	-	-	RNo	43	2	-	-
	r4: Jednostki ładunkowe paletowe	RSt	1	-	-	-	RBe	3	4	6	-

Rys. 6. Zgłoszenia strumieni ładunków [aplikacja OPOsLog 1.0]



Uwzględnione charakterystyki elementów punktowych systemu logistycznego na przykładzie obszaru funkcjonalnego przekształceń strumieni ze względu na postać nr w2 zamieszczono na rysunku 7 (oznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa czasu obsługi: R<sub>Ga</sub> – rozkład Gamma).

**Obszar funkcjonalny przekształceń strumieni ze względu na postać w2**

Obsługiwane strumienie			Wykonywane przekształcenia strumieni			Prawdopodobieństwa przekształceń																																	
Liczba strumieni	3		Liczba przeksz.	1		Przekształcenie	Strumień	Prawd.																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa strumienia</th> <th>Pojemność</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>r1: Zamówienia całopojazdowe</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>r4: Jednostki ładunkowe paletow</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>r2: Wysyłki całopojazdowe</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			Lp.	Nazwa strumienia	Pojemność	1	r1: Zamówienia całopojazdowe	20	2	r4: Jednostki ładunkowe paletow	3000	3	r2: Wysyłki całopojazdowe	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa przekształcenia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>p1: Realizacja zamówień całopojaz</td> </tr> </tbody> </table>			Lp.	Nazwa przekształcenia	1	p1: Realizacja zamówień całopojaz	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Przekształcenie</th> <th>Strumień</th> <th>Prawd.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>p1: Realizacja za</td> <td>r1: Zamówienia 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>p1: Realizacja za</td> <td>r4: Jednostki ła</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			Przekształcenie	Strumień	Prawd.	p1: Realizacja za	r1: Zamówienia 1		p1: Realizacja za	r4: Jednostki ła	1						
Lp.	Nazwa strumienia	Pojemność																																					
1	r1: Zamówienia całopojazdowe	20																																					
2	r4: Jednostki ładunkowe paletow	3000																																					
3	r2: Wysyłki całopojazdowe	1																																					
Lp.	Nazwa przekształcenia																																						
1	p1: Realizacja zamówień całopojaz																																						
Przekształcenie	Strumień	Prawd.																																					
p1: Realizacja za	r1: Zamówienia 1																																						
p1: Realizacja za	r4: Jednostki ła	1																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa środka pracy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>s3: Wózek widłowy unoszący</td> </tr> </tbody> </table>			Lp.	Nazwa środka pracy	1	s3: Wózek widłowy unoszący	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa kategorii pracy</th> <th>Fizyczny</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>l3: Operator wózka unoszącego</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Lp.	Nazwa kategorii pracy	Fizyczny	1	l3: Operator wózka unoszącego	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa zmiany pracy</th> <th>Opis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>zm1: Zmiana 1</td> <td>6:00 - 14:00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>zm2: Zmiana 2</td> <td>14:00 - 22:00</td> </tr> </tbody> </table>			Lp.	Nazwa zmiany pracy	Opis	1	zm1: Zmiana 1	6:00 - 14:00	2	zm2: Zmiana 2	14:00 - 22:00												
Lp.	Nazwa środka pracy																																						
1	s3: Wózek widłowy unoszący																																						
Lp.	Nazwa kategorii pracy	Fizyczny																																					
1	l3: Operator wózka unoszącego	0																																					
Lp.	Nazwa zmiany pracy	Opis																																					
1	zm1: Zmiana 1	6:00 - 14:00																																					
2	zm2: Zmiana 2	14:00 - 22:00																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Środek pr.</th> <th>Przeksz.</th> <th>Jedn.obsl.</th> <th>Czas obsl.</th> <th>Par.a</th> <th>Par.b</th> <th>Par.c</th> <th>Par.p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>s3: Wózek</td> <td>p1: Realiz</td> <td>1</td> <td>R<sub>Ga</sub></td> <td>40</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Środek pr.	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p	s3: Wózek	p1: Realiz	1	R <sub>Ga</sub>	40	1	7	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pracownik</th> <th>Przeksz.</th> <th>Jedn.obsl.</th> <th>Czas obsl.</th> <th>Par.a</th> <th>Par.b</th> <th>Par.c</th> <th>Par.p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>l3: Operator</td> <td>p1: Realiz</td> <td>1</td> <td>R<sub>Ga</sub></td> <td>40</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Pracownik	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p	l3: Operator	p1: Realiz	1	R <sub>Ga</sub>	40	1	7	-
Środek pr.	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p																																
s3: Wózek	p1: Realiz	1	R <sub>Ga</sub>	40	1	7	-																																
Pracownik	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p																																
l3: Operator	p1: Realiz	1	R <sub>Ga</sub>	40	1	7	-																																

Rys. 7. Charakterystyki obszaru funkcjonalnego przekształceń strumieni ze względu na postać nr w2 [aplikacja OPoSLog 1.0]

Uwzględnione charakterystyki połączeń między elementami systemu odwzorowujących przekształcenia strumieni ze względu na miejsce na przykładzie połączenia (w11, w15) zamieszczono na rysunku 8 (oznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa czasu obsługi: R<sub>No</sub> – rozkład normalny).

**Obszar funkcjonalny przekształceń strumieni ze względu na miejsce (w11, w15)**

Obsługiwane strumienie				Wykonywane przekształcenie strumieni																																																			
Liczba strumieni	1			p7: Przewóz średnionozowy																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa strumienia</th> <th>Prawd. przejścia</th> <th>Pojemność</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>r3: Wysyłki częściowe</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>				Lp.	Nazwa strumienia	Prawd. przejścia	Pojemność	1	r3: Wysyłki częściowe	1	10																																												
Lp.	Nazwa strumienia	Prawd. przejścia	Pojemność																																																				
1	r3: Wysyłki częściowe	1	10																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa środka pracy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>s2: Pojazd ciężarowy q10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>s1: Pojazd członowy</td> </tr> </tbody> </table>				Lp.	Nazwa środka pracy	1	s2: Pojazd ciężarowy q10	2	s1: Pojazd członowy	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lp.</th> <th>Nazwa kategorii pracy</th> <th>Fizyczny</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>l2: Kierowca kategorii C</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>l1: Kierowca kategorii C+E</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Lp.	Nazwa kategorii pracy	Fizyczny	1	l2: Kierowca kategorii C	0	2	l1: Kierowca kategorii C+E	0																																	
Lp.	Nazwa środka pracy																																																						
1	s2: Pojazd ciężarowy q10																																																						
2	s1: Pojazd członowy																																																						
Lp.	Nazwa kategorii pracy	Fizyczny																																																					
1	l2: Kierowca kategorii C	0																																																					
2	l1: Kierowca kategorii C+E	0																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Środek pr.</th> <th>Przeksz.</th> <th>Jedn.obsl.</th> <th>Czas obsl.</th> <th>Par.a</th> <th>Par.b</th> <th>Par.c</th> <th>Par.p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>s2: Pojazd</td> <td>r3: Wysył</td> <td>1</td> <td>R<sub>No</sub></td> <td>142</td> <td>7</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>s1: Pojazd</td> <td>r3: Wysył</td> <td>2</td> <td>R<sub>No</sub></td> <td>226</td> <td>9</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Środek pr.	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p	s2: Pojazd	r3: Wysył	1	R <sub>No</sub>	142	7	-	-	s1: Pojazd	r3: Wysył	2	R <sub>No</sub>	226	9	-	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pracownik</th> <th>Przeksz.</th> <th>Jedn.obsl.</th> <th>Czas obsl.</th> <th>Par.a</th> <th>Par.b</th> <th>Par.c</th> <th>Par.p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>l2: Kierowca</td> <td>r3: Wysył</td> <td>1</td> <td>R<sub>No</sub></td> <td>142</td> <td>7</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>l1: Kierowca</td> <td>r3: Wysył</td> <td>2</td> <td>R<sub>No</sub></td> <td>226</td> <td>9</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Pracownik	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p	l2: Kierowca	r3: Wysył	1	R <sub>No</sub>	142	7	-	-	l1: Kierowca	r3: Wysył	2	R <sub>No</sub>	226	9	-	-
Środek pr.	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p																																																
s2: Pojazd	r3: Wysył	1	R <sub>No</sub>	142	7	-	-																																																
s1: Pojazd	r3: Wysył	2	R <sub>No</sub>	226	9	-	-																																																
Pracownik	Przeksz.	Jedn.obsl.	Czas obsl.	Par.a	Par.b	Par.c	Par.p																																																
l2: Kierowca	r3: Wysył	1	R <sub>No</sub>	142	7	-	-																																																
l1: Kierowca	r3: Wysył	2	R <sub>No</sub>	226	9	-	-																																																

Rys. 8. Charakterystyki obszaru funkcjonalnego przekształceń strumieni ze względu na miejsce (w11, w15) [aplikacja OPoSLog 1.0]

### 3.2 Wyniki obliczeń

Korzystając z aplikacji OPoSLog 1.0 dokonano optymalizacji statycznej badanego podsystemu logistycznego. W wyniku, której uzyskano następujący jego potencjał przewozowy:

- 27 pojazdów członowych,
- 28 samochody ciężarowe o ładowności około 10 ton,
- 55 kierowców z uprawnieniami do kierowania pojazdami kategorii C+E,
- 57 kierowców z uprawnieniami do kierowania pojazdami kategorii C.

Wymagany potencjał składowy obejmuje:

- 982 gniazda regałowe w strefie składowania jłp magazynu regionalnego A,
- 1 390 gniazd regałowych w strefie składowania jłp magazynu regionalnego B,
- 491 gniazd regałowych w strefie składowania jłp magazynu regionalnego C.

Natomiast optymalny potencjał przeładunkowy jest następujący:

- podukład przeładunkowy magazynu wyrobów gotowych na wyjściu – 3 wózki widłowe obsługiwane przez 6 operatorów,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego A na wejściu – 1 wózek widłowy obsługiwany przez 1 operatora,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego A na wyjściu – 2 wózki widłowe obsługiwane przez 5 operatorów,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego B na wejściu – 1 wózek widłowy obsługiwany przez 2 operatorów,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego B na wyjściu – 5 wózków widłowych obsługiwanych przez 11 operatorów,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego C na wejściu – 1 wózek widłowy obsługiwany przez 1 operatora,
- podukład przeładunkowy magazynu regionalnego C na wyjściu – 3 wózki widłowe obsługiwane przez 6 operatorów.

Uzyskane dla badanego przypadku zdyskontowane wydatki na utworzenie i eksploatację podsystemu obsługi transportowo-magazynowej przedsiębiorstwa to 263 011,3 tys. zł / okres eksploatacji równy dwadzieścia lat, tj. 13 150,6 tys. zł rocznie.

Co ciekawe z uzyskanego rozwiązania wynika, że przewozy częściowe w relacji wyjście magazynu MRA – klienci MRA powinny być realizowane częściowo (8 972,5 min./rok) przez pojazd członowy obsługiwany przez kierowcę posiadającego uprawnienia kat. C+E, zaś w pozostałej części (445 562,8 min./rok) przez pojazdy średnionażone obsługiwane przez kierowców posiadających uprawnienia kat. C. Przewozy częściowe w relacji wyjście magazynu MRB – klienci MRB powinny być realizowane wyłącznie przez pojazdy średnionażone obsługiwane przez kierowców posiadających uprawnienia kat. C. Natomiast przewozy częściowe w relacji wyjście magazynu MRC – klienci MRC powinny być realizowane wyłącznie przez pojazdy średnionażone obsługiwane przede wszystkim (737 821,9 min./rok) przez kierowców posiadających uprawnienia kat. C jak również przez kierowców posiadających uprawnienia kat. C+E (9 666,1 min./rok).

### WNIOSKI

Jak wykazano w artykule opracowany model optymalizacji potencjału systemów logistycznych może znaleźć zastosowanie również do optymalizacji potencjału systemów transportowo-magazynowych. Zastosowanie tego modelu umożliwi uzyskanie optymalnego doboru urządzeń oraz pracowników do realizacji prac ładunkowych, przewozów oraz innych operacji związanych z obsługą strumieni ładunków. Należy jednak mieć na uwadze pewne założenia upraszczające przyjęte w modelu, poprzez które nie może być on stosowany do optymalizacji systemów przewozowych w pełnym zakresie (np. nie umożliwia rozwiązania problemu optymalizacji tras przewozu). Ograniczenia te w odniesieniu do dwóch innych studiów przypadków zostały opisane w [17] oraz w ujęciu ogólnym w [14].

Jak dowiedziano w opisanym w artykule przypadku model umożliwia optymalizację potencjału podsystemów logistycznych różnych klas uwzględniając również jego optymalne przypisanie do

przekształceń strumieni. Jak to miało miejsce w opisanym przypadku, aby zapewnić niższe całkowite koszty eksploatacji systemu droższe urządzenia oraz pracownicy wyższych kategorii pracy ludzkiej mogą być przydzielani w ramach ich wolnych zdolności produkcyjnych do realizacji przekształceń właściwych dla innych urządzeń i pracowników. Brak takiego rozwiązania w badanym przypadku powodowałby konieczność zakupu dodatkowego pojazdu średnionozowego oraz zatrudnienia dodatkowego kierowcy posiadającego uprawnienia kategorii C+E.

### Streszczenie

W artykule zawarto propozycję stosowania opisanego w [14] modelu optymalizacji potencjału systemów logistycznych do wyznaczania technicznego i ludzkiego potencjału podsystemów obsługi transportowo-magazynowej przedsiębiorstwa. Zamieszczono opis ogólny modelu, założenia optymalizacji statycznej potencjału systemów logistycznych oraz przykład obliczeniowy. W rozpatrzonym przypadku dokonano optymalizacji potencjału przewozowego, składowego oraz przeladunkowego badanego systemu logistycznego. Realizację przewozów ładunków zoptymalizowano przy uwzględnieniu środków przewozowych różnych typów. Jak wykazano model umożliwia optymalizację statyczną podsystemów transportowo-magazynowych przedsiębiorstw. Uzyskane rozwiązania określają optymalne zasoby systemów logistycznych, jak również optymalne wykorzystanie tych zasobów.

## Optimization of the potential of transport and warehousing subsystem in a company

### Abstract

The paper presents proposition of applying model of optimization of logistics systems potential presented in [14] to determine technical and labor capability of transport and warehousing subsystems of a companies. General description of a model, assumptions for static optimization of a logistics system potential, and appropriate numerical example are provided. The examined case was related to optimization of a transport, storage and transshipment capability of exemplary logistics system. Transport subsystem was optimized with regard to vehicles of different types. As it was revealed, the model allows static optimization of transport and warehousing subsystems of companies. Gained results determine optimal resources of logistics systems, as well as their optimal usage.

### BIBLIOGRAFIA

1. Brzeziński M., Systemy w logistyce, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2007.
2. Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
3. Ghiani G., Laporte G., Musmanno R., *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, JohnWiley & Sons Ltd, Chichester 2004.
4. Heragu S. S., *Material Handling System*, in: Taylor G. D., *Logistics Engineering Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008, Chapter 11.
5. Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
6. Krupa T., *Elementy organizacji. Zasoby i zadania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Fundacja „Książka Naukowo-Techniczna”, Warszawa 2006.
7. Kusiak A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.
8. Lambert D. M., Stock J. R., Ellram L. M., *Fundamentals of logistics management*, McGraw-Hill Irwin, Boston 1998.
9. Nowakowski T., *Niezawodność systemów logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
10. Powell W. B., *Real-Time Dispatching for Truckload Motor Carriers*, in: Taylor G. D.: *Logistics Engineering Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008, Chapter 15.
11. Turban E., Meredith J. R., *Fundamentals of management science*, 5th edition, Irwin, Homewood, Boston 1991.

12. Wasiak M., *Formal Notation of a Logistic System Model Taking into Consideration Cargo Stream Transformations*, Archives of Transport, Vol. 23, Iss. 1, Warszawska Drukarnia Naukowa PAN, Warszawa 2011.
13. Wasiak M., *Model statyczny optymalizacji wyposażenia systemów logistycznych*, W: Kochan E. (red.), *Zastosowania teorii systemów*, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2007.
14. Wasiak M., *Modelowanie przepływu ładunków w zastosowaniu do wyznaczania potencjału systemów logistycznych*, Prace Naukowe Transport, z. 79, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
15. Wasiak M., *Optimization of a Potential of Logistics System*, W: Selvaraj H., Zydek D. (ed.), *Proceedings of 21st International Conference on Systems Engineering ICSEng 2011*, IEEE Computer Society, USA, California, Los Alamitos 2011.
16. Wasiak M., *Static optimization of potential of logistic systems*, Archives of Transport, Vol. 20, Iss. 3, Warszawska Drukarnia Naukowa PAN, Warszawa 2008.
17. Wasiak M., *Uwarunkowania stosowania modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału systemów przewozowych*, Logistyka 2012, nr 4.
18. Wasiak M., *The some approach of logistics systems modeling*, 10TH International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation 2008, Greece, Athens 2008, Vol. 8, Curran Associates Inc., USA, Red Hook, NY 12571, 2010.
19. Vazacopoulos A., Verma N., *Hybrid MIP-CP techniques to solve a multi-machine assignment and scheduling problem in XPRESS-CP*, in: Pardalos P. M., Heam D. W. (ed.), *Supply chain optimization*, Springer, New York 2005, Chapter 12
20. Vitasek K., *Supply chain management terms and glossary*, Council of Supply Chain Management Professionals, luty 2010.