

## OPTIMALIZACJA POTENCJAŁU OBIEKTU LOGISTYCZNEGO DLA USTALONEGO WARIANTU JEGO UKSZTAŁTOWANIA

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono możliwość zastosowania modelu systemu logistycznego, który został opisany w [9] i jego implementacji komputerowej do optymalizacji potencjału obiektów logistycznych dla ustalonego wariantu ich ukształtowania. Model ten został opracowany m.in. na potrzeby optymalizacji statycznej potencjału systemów logistycznych. Sformułowane w tym zakresie zadanie optymalizacyjne umożliwia identyfikację, które spośród rozważanych rozwiązań technicznych powinno być zastosowane w danym systemie logistycznym, jak również jakie powinny być zaangażowane zasoby ludzkie oraz jakie powinno być obciążenie środków technicznych i pracowników. Rozważania przedstawiono na przykładzie obliczeniowym. Opisane w artykule podejście może być zastosowane również m.in. do optymalizacji potencjału kolejowych punktów eksploatacyjnych.*

### WSTĘP

Rozpatrywane w artykule obiekty logistyczne stanowią klasę systemów logistycznych skali mikro. W praktyce są to terminale przeładunkowe, magazyny, centra dystrybucyjne, centra logistyczne, stacje kolejowe i inne punkty eksploatacyjne na sieci kolejowej itp. Wszystkie z tych rodzajów obiektów logistycznych mogą być różnie ukształtowane oraz funkcjonują przy dynamicznie zmieniających się uwarunkowaniach rynkowych. W konsekwencji projektowanie tych obiektów jest zagadnieniem złożonym oraz obiekty te powinny być poddawane okresowemu audytowi logistycznemu.

Ogólnie system logistyczny to taki system, którego celem jest realizacja przekształceń strumieni ładunków stanowiących obsługiwane w systemie logistycznym dobra materialne oraz związanych z nimi strumieni informacji [9]. Dla systemów logistycznych charakterystyczne są więc procesy przekształceń strumieni ładunków oraz strumieni informacji. Procesy te, ze względu na zakres zmian wywołanych na tych strumieniach, dzielone są na przekształcenia ze względu na czas, miejsce oraz postać [1].

Realizacja zadań przez dany system wymaga, aby dysponował on niezbędnymi możliwościami w tym zakresie [3], przy czym możliwości te i ich wykorzystanie rozumiane są jako potencjał logistyczny. W takim ujęciu potencjał systemu logistycznego to jego zasoby wraz z relacjami między nimi oraz zasady organizacji pracy, które umożliwiają realizację określonych przekształceń strumieni ładunków i związanych z nimi informacji [9]. Przy czym zasoby w ujęciu najbardziej ogólnym utożsamiane są ze środkami, które są konieczne do osiągnięcia założonego celu [5], którym w badanym przypadku jest właściwa realizacja przekształceń strumieni ładunków oraz informacji. Natomiast zakres przekształceń strumieni ładunków i strumieni informacji w obszarze systemu logistycznego określa zadanie logistyczne [1].

Jak wiadomo projektowanie obiektów logistycznych jest sztuką, której efekty są determinowane przede wszystkim wiedzą i doświadczeniem oraz intuicją projektanta [1], [9]. Wynika to z dużej złożoności tego problemu, która implikuje konieczność ograniczenia obszaru poszukiwań najlepszego rozwiązania do co najwyżej kilku wariantów. Ponadto okazuje się, że również w przypadku wykorzystania technik obliczeniowych do poszukiwania rozwiązań optymalnych dla systemów logistycznych również występują pewne ograniczenia [9]. Należy tu choćby ograniczyć liczbę rozpatrywanych wariantów ukształtowania systemu logistycznego jak i liczbę rozpa-

trywanych w poszczególnych z tych wariantów jako alternatywne środków technicznych, zasobów ludzkich, czy też rozwiązań organizacyjnych. Sprawia to, że również przy zastosowaniu narzędzi informatycznych należy godzić się na pewne ograniczenia obszaru poszukiwania najlepszego wariantu dla danego obiektu logistycznego, choć obszar ten jest nieporównywalnie większy niż w przypadku klasycznego podejścia projektowego. Obok istotnej redukcji czasu obliczeń stanowi to podstawową korzyść ze zastosowania narzędzi optymalizacyjnych w projektowaniu systemów logistycznych.

Mając na względzie powyższe, za cel artykułu przyjęto ukazanie korzyści z zastosowania wybranego narzędzia optymalizacji potencjału systemów logistycznych. Opisane w artykule podejście zakłada wykorzystanie do optymalizacji potencjału systemów logistycznych 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 obciążenia systemów logistycznych (losowa wielkość zadań logistycznych), czy też czasu realizacji przekształceń strumieni ładunków (np. losowe trasy przemieszczania ładunków).

W literaturze opisanych zostało wiele podejść do optymalizacji systemów logistycznych, jednak w przeciwieństwie do podejścia przedstawionego w [9] są to modele cząstkowe (patrz np. [2], [3], [4], [6], [7], [13]).

### 1. ZADANIE OPTIMALIZACJI STATYCZNEJ POTENCJAŁU SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH – ZAŁOŻENIA

#### 1.1. Postać ogólna modelu systemu logistycznego

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 jego zasobów **ZO**. Ponadto w każdym systemie logistycznym możliwe jest wyspecyfikowanie pewnych zasad realizacji zadania logistycznego **ZR**, które mogą być ujmowane w ograniczeniach oraz kryteriach optymalizacji systemów logistycznych. Uwzględniając wymienione elementy, model systemu logistycznego **MSL** zdefiniowano, jako uporządkowaną piątkę postaci [9]:

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

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

$$T = \{t : t = 1, \dots, \bar{T}\} \quad (2)$$

Realizowane w systemie logistycznym zadanie logistyczne polega na przekształcaniu strumieni ładunków wchodzących do tego systemu w strumieniu ładunków z niego wychodzące [1]. Obsługiwane w systemie logistycznym rodzaje ładunków zapisano w zbiorze  $R = \{r : r = 1, \dots, \bar{R}\}$ , a 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  $P$ ). Zatem zadanie logistyczne  $ZL$  stawiane przed systemem logistycznym zdefiniowano następująco:

$$ZL = \langle QZ, P \rangle \quad (3)$$

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, której 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, które mogą być stosowane w danym systemie  $S = \{s : s = 1, \dots, \bar{S}\}$  oraz 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  $FL, Fs, FZM$ , dysponowane zasoby  $ZO$  zdefiniowano następująco:

$$ZO = \langle L, FL, S, Fs, ZM, FZM \rangle \quad (4)$$

Charakterystyki zasobów systemu logistycznego to m.in.: roczny koszt stały pracy środka pracy bez uwzględnienia odpisów amortyzacyjnych lub zatrudnienia pracownika, koszt zmienny pracy przypadający na jednostkę czasu, nakłady inwestycyjne na nabycie środka pracy lub na zatrudnienie pracownika, przewidywany okres eksploatacji środka pracy lub zatrudnienia pracownika, współczynnik wykorzystania czasu pracy (formalne odwzorowanie tych i pozostałych charakterystyk zasobów systemów logistycznych opisano w [9]).

Struktura systemu logistycznego w skali mikro wynika z wyodrębnionych w nim obszarów funkcjonalnych  $AS$  i ich lokalizacji, przy czym obszary te są powiązane ze sobą i z innymi obiektami logistycznymi relacjami  $RS$ . Mając na względzie ten fakt, strukturę systemu logistycznego  $GS$  formalnie zdefiniowano następująco:

$$GS = \langle AS, RS \rangle \quad (5)$$

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:

$$AS = Z \cup W = Z \cup WP \cup WT \quad (6)$$

przy czym  $Z \cap WP = \emptyset$ ,  $WP \cap WT = \emptyset$ ,  $Z \cap WT = \emptyset$

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  $Fz$ , obszarów funkcjonalnych, w których są realizowane przekształcenia ze względu na postać  $FWP$ , czas  $FWT$  oraz miejsce  $FRM$ , a także zbioru charakterystyk połączeń formalnych między strefami systemu  $FRF$ , tj.:

$$FS = Fz \cup FWP \cup FWT \cup FRM \cup FRF \quad (7)$$

Charakterystyki określone na elementach struktury systemów logistycznych to m.in.: wielkości zgłoszeń ładunków w kolejnych chwilach, rodzaje obsługiwanych strumieni ładunków oraz ich przekształceń, pojemności miejsc oczekiwania strumieni ładunków na przekształcenia, rodzajów dostępnych środków pracy, kategorii pracy ludzkiej, zmian pracy możliwych do wprowadzenia, liczby przekształceń, które mogą być realizowane jednocześnie za pomocą dostępnych zasobów oraz czasu realizacji tych przekształceń (formalne odwzorowanie tych i pozostałych charakterystyk elementów struktury systemów logistycznych opisano w [9]).

Cechy, które wyróżniają opisany model systemu logistycznego to przede wszystkim:

- 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. prze-mieszczanie wózkiem widłowym w jednym cyklu jednocześnie dwóch jednostek ładunkowych.

## 1.2. Założenia optymalizacji statycznej potencjału systemu logistycznego

Ze względów objętościowych w artykule scharakteryzowano jedynie rodzaje zmiennych decyzyjnych, ograniczeń oraz kryteriów optymalizacji modelu optymalizacji statycznej potencjału systemu logistycznego, który został przedstawiony w [9].

W wyniku rozwiązania sformułowanego zadania optymalizacyjnego ustalane są wartości zmiennych decyzyjnych o interpretacji:

- liczby środków pracy  $s$ -tego rodzaju, w które należy wyposażyć  $w$ -tą strefę systemu logistycznego  $x_{WS_{w,s}}$  i połączenia między strefami tego systemu  $x_{MS_s}$ ,
- liczby pracowników  $l$ -tej kategorii, których należy zatrudnić na  $zm$ -tej zmianie pracy w  $w$ -tej strefie systemu logistycznego  $x_{WL_{w,zm,l}}$  oraz do realizacji przekształceń na połączeniach między strefami tego systemu  $x_{ML_{zm,l}}$ ,
- rocznego czasu pracy w  $w$ -tej strefie systemu logistycznego podczas realizacji przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać  $p$ -tego typu dla środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{PS_{w,s}}^p$ , dla pracowników  $l$ -tej kategorii, którzy realizują te przekształcenia bez zastosowania środków pracy  $Y_{PL_{w,l}}^p$  oraz dla pracowników  $l$ -tej kategorii zatrudnionych na  $np_s^p$ -tym stanowisku obsługi środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{PO_{w,np_s^p,l}}^p$ ,
- rocznego czasu pracy w  $w$ -tej strefie systemu logistycznego podczas realizacji przekształceń strumieni ładunków  $r$ -tego rodzaju ze względu na czas dla środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{TS_{w,s}}^r$ , dla pracowników  $l$ -tej kategorii, którzy realizują te przekształcenia bez zastosowania środków pracy  $Y_{TL_{w,l}}^r$  oraz dla pracowników  $l$ -tej kategorii zatrudnionych na  $no_s^r$ -tym stanowisku obsługi środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{TO_{w,s,no_s^r,l}}^r$ ,
- rocznego czasu pracy na połączeniu  $w'$ -tej i  $w$ -tej strefy systemu logistycznego podczas realizacji przekształceń strumieni ładunków  $r$ -tego rodzaju ze względu na miejsce dla środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{MS_{w',w,s}}^r$ , dla pracowników  $l$ -tej kategorii, którzy realizują te przekształcenia bez zastosowania środków pracy  $Y_{ML_{w',l}}^r$  oraz dla pracowników  $l$ -tej kategorii zatrudnionych na  $no_s^r$ -tym stanowisku obsługi środków pracy  $s$ -tego rodzaju  $Y_{MO_{w',w,s,no_s^r,l}}^r$ .

Jako kryterium optymalizacji w modelu stosowane jest zwykle kryterium zdyskontowanych wydatków na utworzenie i eksploatację systemu logistycznego, zaś ograniczenia optymalizacji dotyczą:

- przepływu strumieni ładunków ze źródeł do stref systemu logistycznego oraz między jego strefami poszczególnych typów,
- realizacji przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać, czas i miejsce,
- zapewnienia obsługi środkom pracy przydzielonym do realizacji przekształceń strumieni ładunków poszczególnych typów,
- liczby środków pracy w poszczególnych obszarach funkcjonalnych systemu,
- liczby pracowników w poszczególnych obszarach funkcjonalnych systemu,

- akceptowalnego poziomu nakładów inwestycyjnych,
- całkowitościowości zmiennych decyzyjnych o interpretacji liczby środków pracy oraz liczby pracowników,
- całkowitościowości zmiennych decyzyjnych o interpretacji obciążenia środków pracy i pracowników.

Postać formalną wymienionych ograniczeń oraz szczegółowy opis zadania optymalizacyjnego można znaleźć w [9]. Natomiast wybrane elementy tego modelu oraz problemy badawcze dla różnych sytuacji decyzyjnych rozwiązane z jego zastosowaniem zostały opisane m.in. w: [8], [10], [11] i [12].

## 2. OPTIMALIZACJA POTENCJAŁU WYBRANEGO OBIEKTU LOGISTYCZNEGO

### 2.1. Charakterystyka badanego obiektu

Implementacja opisanego w poprzednim rozdziale modelu została zastosowana m.in. do wyznaczenia potencjału wybranego centrum dystrybucyjnego dla jednego z wariantów ukształtowania tego obiektu. W badanym wariantcie w centrum dystrybucyjnym zostały wyodrębnione następujące strefy funkcjonalne:

- strefa przyjęcia towaru – przyjęcie dostaw poprzedzające prze-mieszczanie jednostek ładunku do strefy składowania,
- strefa nadania towaru – przygotowane do wysyłki jednostki ładunkowe oczekują na załadunek do środków transportu zewnętrznych,
- strefa składowania – długookresowe składowanie jednostek ładunkowych paletowych,
- strefa komisjonowania – jednostki ładunkowe są formowane wg zamówień klientów,
- strefa przeładunku kompletacyjnego – poszczególne jednostki ładunkowe podlegają sortowaniu wg kierunków dostaw, przy czym ładunek jest składowany do 48 godzin.

Jako urządzenia do składowania uwzględnione zostały regały paletowe (40 rzędów po 48 miejsc składowych na jednym poziomie) o wysokości 10,3 (składowanie w 5-ciu poziomach). Pojemność strefy składowania regałowego to 9 600 miejsc paletowych. Wszystkie miejsca paletowe mają wysokość 2,03 m. Przyjęto, że magazyn będzie posiadał rampy czołowe usytuowane z dwóch stron (układ workowy). Z jednej strony będą rampy rozładunkowe wraz ze strefą przyjęcia towaru, zaś z drugiej strony rampy załadunkowe wraz ze strefą wydania towaru.

Pomiędzy strefami obiektu i w samych strefach jednostki ładunkowe paletowe są przemieszczane za pomocą wózków widłowych. W tym zakresie magazyn będzie posiadał:

- wózki widłowe elektryczne unoszące,
- wózki widłowe elektryczne wysokiego składowania,
- wózki widłowe elektryczne do kompletacji.

Przyjęto, że centrum dystrybucyjne będzie posiadało własne naczepy oraz ciągniki siodłowe do ich podstawiania do ramp ładunkowych. Po wykonaniu operacji ładunkowych naczepy będą odstawiane na plac postojowy gdzie będą oczekiwać na podjęcie przez należące do innych firm ciągniki siodłowe.

Praca w magazynie będzie odbywać się w systemie dwuzmianowym. Natomiast dostawy i wysyłki z analizowanego magazynu będą realizowane są przez pięć dni w tygodniu.

### 2.2. Proces przepływu strumieni ładunków

Do obsługi w badanym obiekcie jednostki ładunku będą dostarczane uniwersalnymi pojazdami członowymi. Pojazdy te zgłaszające się do obsługi (źródło zgłoszeń pojazdów jest pierwszym elementem struktury badanego systemu –  $w = 1$ ) będą kontrolowane na bramie wjazdowej ( $w = 2$ ,  $s = 1$ ). Podczas tej kontroli pracownik ochrony ( $l = 1$ ) będzie sprawdzał dokumenty przewozowe i przy-

dzielał kierowcy rampę rozładunkową. Po kontroli pojazd będzie kierowany na parking ( $w = 3$ ) wyposażony w wyznaczone miejsca postojowe ( $s = 7$ ), na którym pojazd będzie oczekiwać na zwolnienie się przydzielonej mu rampy rozładunkowej. Następnie pojazd będzie podstawiany pod rampę rozładunkową ( $w = 4$ ).

Po podstawieniu do odpowiedniego doku przeładunkowego pojazd będzie rozładowywany. Do rozładunku przyjęto wózki widłowe unoszące ( $s = 2$ ) obsługiwane przez operatorów ( $l = 2$ ). Po rozładunku jednostki ładunkowe w strefie przyjęcia towaru ( $w = 5$ ) na wyznaczonych miejscach paletowych ( $s = 6$ ) będą poddawane kontroli ilościowo-jakościowej realizowanej przez pracownika magazynu ( $l = 4$ ). Po tej kontroli jednostki ładunkowe będą przewożone wózkami widłowymi unoszącymi ( $s = 2, l = 2$ ) do obszaru przyjęcia do strefy składowania ( $w = 6, s = 6$ ), lub do strefy tymczasowego składowania ( $w = 9$ ) na wyznaczone miejsca paletowe ( $s = 6$ ). Następnie jednostki ładunkowe za pomocą wózków widłowych wysokiego składowania ( $s = 3, l = 3$ ) będą pobierane z obszaru przyjęcia do strefy składowania oraz umieszczane w strefie składowania ( $w = 7$ ) wyposażonej w regały paletowe wysokiego składowania ( $s = 5$ ). Jednostki ładunkowe paletowe po okresie ich składowania będą przemieszczane wózkami widłowymi wysokiego składowania ( $s = 3, l = 3$ ) ze strefy składowania ( $w = 7$ ) do obszaru wydania ze tej strefy ( $w = 8, s = 6$ ).

Jednostki ładunkowe przeznaczone do wysyłki mogą podlegać komisjonowaniu, które będzie realizowane w wydzielonej strefie ( $w = 10$ ) za pomocą wózków kompletacyjnych ( $s = 4$ ) obsługiwanych przez pracowników strefy kompletacji ( $l = 5$ ). Do strefy kompletacji jednostki ładunkowe będą dowożone za pomocą wózków widłowych unoszących ( $s = 2, l = 2$ ) z obszaru wydania ze strefy składowania ( $w = 8$ ) i ze strefy tymczasowego składowania ( $w = 9$ ).

Jednostki ładunkowe paletowe skompletowane za pomocą wózków widłowych unoszących ( $s = 2, l = 2$ ) będą przemieszczane ze strefy kompletacji do strefy wydania towaru ( $w = 11, s = 6$ ). Poza jednostkami skompletowanymi do strefy wydania towaru dostarczane będą jednostki paletowe jednorodnie. Będą one przemieszczane za pomocą wózków widłowych unoszących ( $s = 2, l = 2$ ) z obszaru wydania ze strefy składowania ( $w = 8$ ) oraz ze strefy tymczasowego składowania ( $w = 9$ ).

W strefie wydania jednostki ładunkowe będą poddawane kontroli ilościowo-jakościowej realizowanej przez pracownika magazynu ( $l = 4$ ), po której będą one przemieszczane wózkami widłowymi unoszącymi ( $s = 2, l = 2$ ) do ramp załadunkowych ( $w = 12$ ) oraz załadowywane tam do środków transportu zewnętrznego (naczep). Po naładunku naczepy za pomocą ciągników siodłowych ( $s = 7$ ) kierowanych przez kierowców ( $l = 6$ ) będą odstawiane na parking ( $w = 13$ ), gdzie w wyznaczonych miejscach postojowych ( $s = 7$ ) naczepy będą oczekiwać na podjęcie przez zewnętrzne ciągniki siodłowe. Pojazdy członowe opuszczające teren obiektu będą poddawane kontroli na bramie wyjazdowej ( $w = 14, s = 1$ ). Kontrola ta będzie obejmować sprawdzenie dokumentów wyjazdowych oraz będzie realizowana przez pracownika ochrony ( $l = 1$ ).

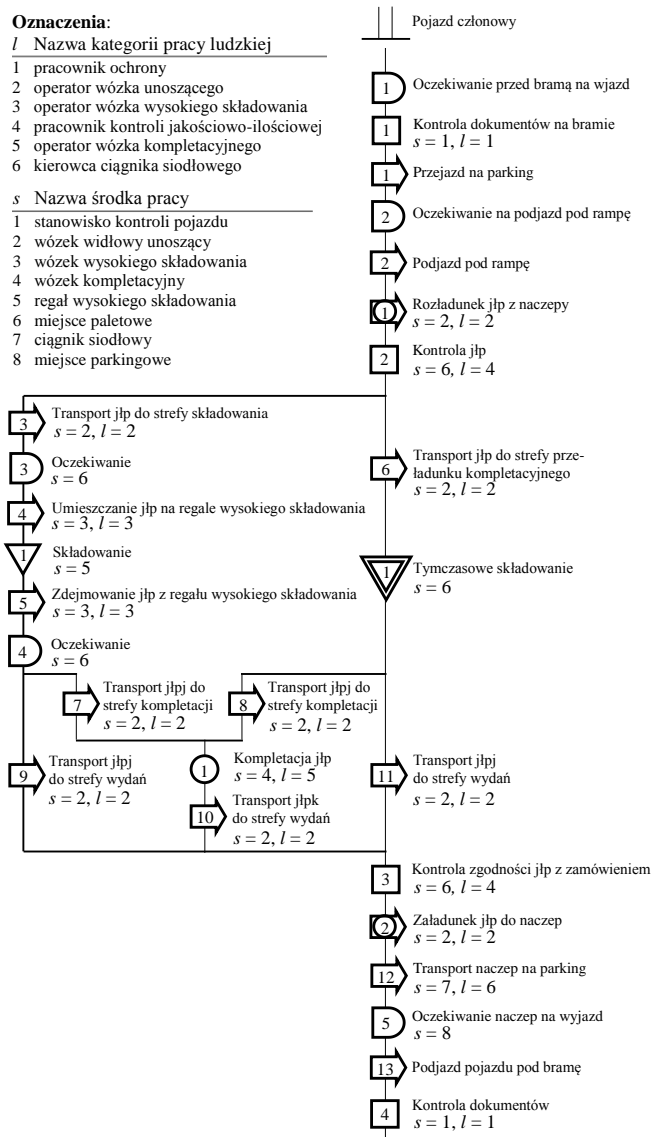
Opisany proces obsługi strumieni ładunków w badanym obiekcie przedstawiono na rys. 1 w postaci karty procesu przepływu ładunków.

Zgodnie z przedstawionym opisem procesu przepływu ładunków oraz z zaproponowaną metodologią badania potencjału systemów logistycznych w badanym obiekcie wyróżnione zostały następujące rodzaje strumieni ładunków (celem uproszczenia w analizach pominięto ruch pustych środków transportu zewnętrznego oraz przemieszczanie palet i jednostek opakowaniowych):

- całopojazdowe dostawy jlp ( $r = 1$ ),
- całopojazdowe wysyłki jlp ( $r = 2$ ),
- jednorodne jednostki ładunkowe paletowe ( $r = 3$ ),

– niejednorodne jednostki ładunkowe paletowe ( $r = 4$ ).

Spośród wymienionych rodzajów strumieni ładunków do obsługi w systemie zgłasza się tylko pierwszy (pozostałe powstają w systemie). Stwierdzono, że średnio dostawa całopojazdowa przybywa w odstępie 12 minut z odchyleniem standardowym równym 3 (rozkład normalny).



Rys. 1. Karta procesu przepływu ładunków przez badany obiekt

Ustalono, że na strumieniach ładunków wymienionych rodzajów będą realizowane następujące ich przekształcenia ze względu na postać:

- rozładunek pojazdów ( $p = 1$ ),
- kompletacja jlp ( $p = 2$ ),
- załadunek jednorodnych jlp ( $p = 3$ ),
- załadunek jednorodnych oraz niejednorodnych jlp ( $p = 4$ ).

Dla wymienionych przekształceń strumieni ładunków przyjęto następujące natężenia przepływu strumieni ładunków przed i po przekształceniu:

- liczba jlp w jednej dostawie – rozkład równomierny (27, 34),
- liczba jlp poddawanych kompletacji w jednym przekształceniu – rozkład normalny (21, 2),
- liczba jlp powstających w wyniku kompletacji w jednym przekształceniu – rozkład normalny (25, 3),
- liczba jlp w jednej wysyłce jednorodnych jlp – rozkład logarytmiczno-normalny (32, 2),

- liczba jednorodnych jłp w jednej wysyłce jednorodnych i niejednorodnych jłp – rozkład normalny (10, 1),
- liczba niejednorodnych jłp w jednej wysyłce jednorodnych i niejednorodnych jłp – rozkład normalny (14, 2).

### 2.3. Wybrane wyniki obliczeń

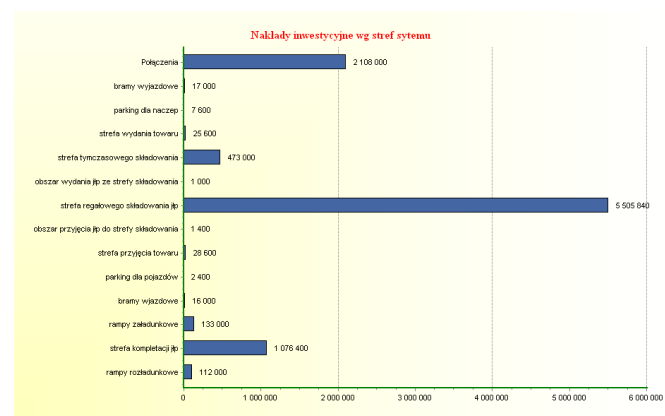
Podstawowym celem obliczeń było określenie wymaganej liczby przyjętych dla danego systemu logistycznego środków pracy oraz pracowników oraz określenie ich obciążenia przekształceniami strumieni ładunków. W analizach zrezygnowano z uwzględnienia m.in. alternatywnych środków pracy, choć zastosowane podejście stwarza takie możliwości dla ustalonego wariantu ukształtowania systemu logistycznego.

Obliczenia wykonano za pomocą aplikacji OPoSLog 1.0 korzystając z modułu do optymalizacji statycznej. Wybrane z uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 2 – 5.

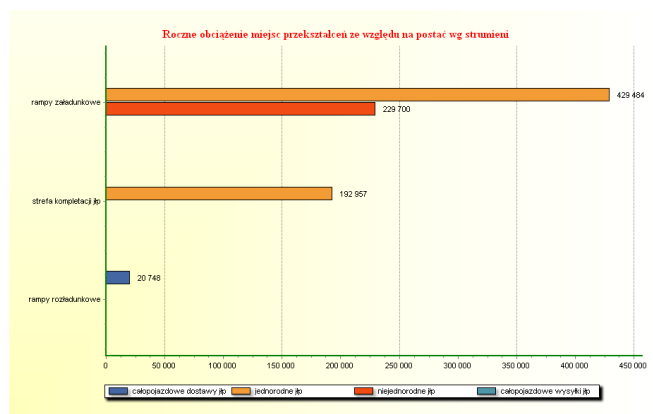
**Tab. 1. Optymalny potencjał techniczny i ludzki badanego obiektu logistycznego [OPoSLog 1.0]**

Strefa systemu	Wymagane środki pracy		Liczba pracowników (zmiana 1 / zmiana 2)
	Rodzaj	Liczba	
<b>Zasoby w obszarach przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać</b>			
Rampy rozładunkowe	Wózki widłowe unoszące	6	6 / 5
Strefa kompletacji jłp	Wózki kompletacyjne	31	31 / 30
Rampy załadunkowe	Wózki widłowe unoszące	7	7 / 7
<b>Zasoby w obszarach przekształceń strumieni ładunków ze względu na czas</b>			
Bramy wjazdowe	Stanowisko kontroli pojazdu	1	1 / 1
Parking dla pojazdów	Miejsca postojowe	6	- / -
Strefa przyjęcia jłp	Miejsca paletowe	172	9 / 9
Obszar przyjęcia jłp do strefy składowania	Miejsca paletowe	7	- / -
Strefa regalowego składowania jłp	Gniazda w regale wysokiego składowania	7647	- / -
Obszar wydania jłp ze strefy składowania	Miejsca paletowe	5	- / -
Strefa tymczasowego składowania	Miejsca paletowe	2365	- / -
Strefa wydania towaru	Miejsca paletowe	150	8 / 8
Parking dla naczepek	Miejsca postojowe	19	- / -
Bramy wyjazdowe	Stanowisko kontroli pojazdu	1	1 / 1
<b>Zasoby w obszarach przekształceń strumieni ładunków ze względu na miejsce</b>			
Wszystkie połączenia między strefami systemu	Wózki widłowe unoszące	24	24 / 23
	Wózki wysokiego składowania	13	13 / 12
	Ciągniki siodłowe	1	1 / 1

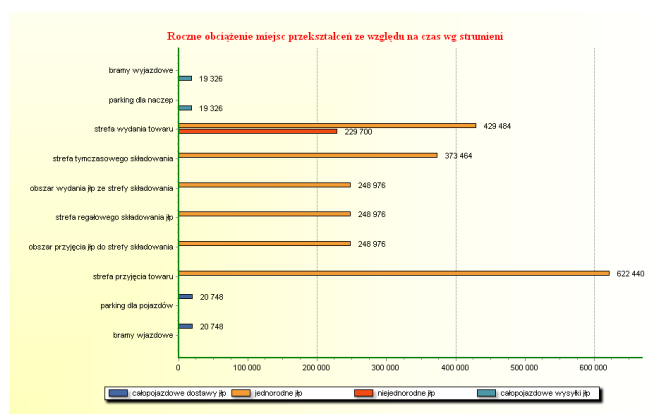
Dla uzyskanego rozwiązania wartość funkcji celu, tj. zaktualizowana nadwyżka finansowa netto w przewidywanym okresie eksploatacji (NCF) jest równa 206 792,7 tys. zł. Natomiast nakłady inwestycyjne na badany obiekt logistyczny w analizowanym zakresie środków technicznych i zasobów ludzkich wyniosą 9 507,8 tys. zł.



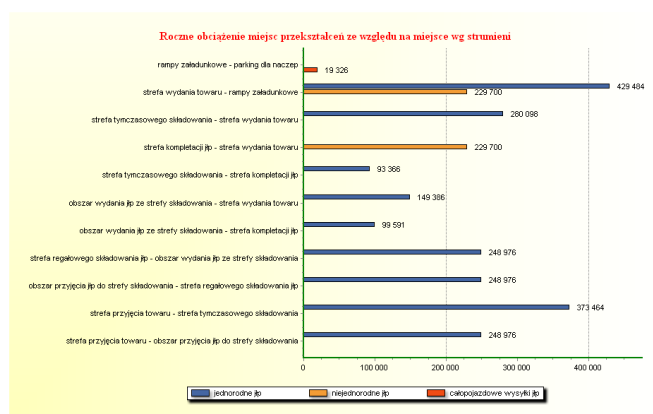
**Rys. 2. Nakłady inwestycyjne wg stref systemu [OPoSLog 1.0]**



**Rys. 3. Obciążenie strumieniami ładunków obszarów przekształceń ze względu na postać [OPoSLog 1.0]**



**Rys. 4. Obciążenie strumieniami ładunków obszarów przekształceń ze względu na czas [OPoSLog 1.0]**



**Rys. 5. Obciążenie strumieniami ładunków obszarów przekształceń ze względu na miejsce [OPoSLog 1.0]**

Poza zestawionym w tabeli 1 optymalnym potencjałem badanego obiektu w wyniku rozwiązania zadania optymalizacyjnego wyznaczono również obciążenie zasobów technicznych i ludzkich badanego obiektu przekształceniami strumieni ładunków poszczególnych typów.

### PODSUMOWANIE

Opisany w [9] model systemu logistycznego stanowi rozbudowane narzędzie do optymalizacji potencjału systemów logistycznych różnych klas (w tym np. obiektów magazynowych, systemów przewozowych, czy też kolejowych punktów eksploatacyjnych). Model ten umożliwia wyznaczenie zasobów technicznych i ludzkich, które

są optymalne dla danego wariantu kształtowania systemu logistycznego, jak również optymalnego powiązania tych zasobów i ich wykorzystania w procesach przekształceń strumieni ładunków ze względu na czas, postać i miejsce. W badaniach realizowanych za pomocą tego modelu mogą być uwzględniane deterministyczne lub losowe parametry dotyczące zgłoszeń strumieni ładunków, czy też czasów ich obsługi w poszczególnych elementach systemu logistycznego. Elementy te wyróżniają ten model na spośród modeli stosowanych na potrzeby optymalizacji systemów logistycznych.

Opisane w artykule statyczne zadanie optymalizacji potencjału systemów logistycznych, w przeciwieństwie do zadania optymalizacyjnego, czy też modelu symulacyjnego (które stanowią pozostałe elementy podejścia opisanego w [9]) ma niewielką złożoność obliczeniową, dzięki czemu pozwala uzyskać akceptowalny czas obliczeń (dla opisanego w artykule studium przypadku czas ten nie przekroczył 2 sekund). Obok opisanej wyżej dużej elastyczności modelu, stanowi to istotne uwarunkowanie jego zastosowania w praktyce. Istotne jest tu, że w jednym zadaniu optymalizacyjnym uwzględnione mogą być różne warianty doboru środków technicznych i zasobów ludzkich, które można rozważać w ramach danego wariantu ukształtowania systemu logistycznego. Tym samym liczba rozpatrywanych wariantów projektowych zwiększa się bardzo istotnie, przy czym czas obliczeń jest tu w sposób znaczący redukowany. Istotne jest również, że jako kryterium optymalizacji uwzględniane są tu zdyskontowane wydatki na utworzenie i eksploatację systemu logistycznego – zatem jest to kryterium właściwe dla wszelkich analiz ekonomicznych wariantów inwestycyjnych.

Opisane podejście nie można jednak zastosować do jednoczesnej oceny rozwiązań stosowanych w różnych wariantach ukształtowania systemu logistycznego. Przykładowo nie można w jednym przykładzie obliczeniowym rozpatrywać układu magazynu ze standardowymi i wąskimi korytarzami oraz wózków widłowych wysokiego składowania i jednocześnie układnic regałowych, bowiem, jako rozwiązanie tego problemu można by uzyskać magazyn z wąskimi korytarzami i jednocześnie ze standardowymi wózkami widłowymi. Co nie jest możliwe do zastosowania w praktyce. Możliwa jest jednak modyfikacja modelu opisanego w [9] tak, aby w jednym zadaniu optymalizacyjnym mogły być uwzględniane rozwiązania techniczne stosowane w różnych wariantach ukształtowania systemu logistycznego.

#### Acknowledgment

Praca naukowa realizowana w ramach projektu PBS3 „System do modelowania i wizualizacji w 3D obiektów magazynowych” (SIMMAG3D) finansowanego z NCBR.

#### BIBLIOGRAFIA

- Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*, OWPW, Warszawa 2003.
- Heragu S.S., *Material Handling System*, Chapter 11, in: Taylor G.D., *Logistics Engineering Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008.
- Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, OWPW, Warszawa 2009.
- Kusiak A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.
- Krupa T., *Elementy organizacji. Zasoby i zadania*, WNT, Fundacja „Książka Naukowo-Techniczna”, Warszawa 2006.
- Powell W.B., *Real-Time Dispatching for Truckload Motor Carriers*, Chapter 15, in: Taylor G. D.: *Logistics Engineering Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008.
- Turban E., Meredith J.R., *Fundamentals of management science*, 5th edition, Irwin, Homewood, Boston 1991.
- 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.
- Wasiak M., *Modelowanie przepływu ładunków w zastosowaniu do wyznaczania potencjału systemów logistycznych*, Prace Naukowe Transport, z. 79, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- 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.
- Wasiak M., *Optymalizacja potencjału podsystemu obsługi transportowo-magazynowej przedsiębiorstwa*, Logistyka 2014, nr 6.
- Wasiak M., *Uwarunkowania stosowania modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału systemów przewoźnych*, Logistyka 2012, nr 4.
- Vazacopoulos A., Verma N., *Hybrid MIP-CP techniques to solve a multi-machine assignment and scheduling problem in XPRESS-CP*, Chapter 12, in: Pardalos P.M., Heam D.W. (ed.), *Supply chain optimization*, Springer, New York 2005.

## OPTIMIZATION OF TECHNICAL POTENTIAL OF GIVEN TECHNOLOGICAL VARIANT OF LOGISTICS OBJECT

#### Abstract

*The article presents the possible application of the model of logistics system presented in [9] and its computer implementation to optimize the potential of given technological variant of logistics facility. The model was developed firstly to optimize static potential of the logistics systems. The logistics task solved by logistics facility was formulated to support decision about which technical variant of facility should be introduced into given logistics system. It also allows for identification of necessary human resources and wanted capacity of technical means of transport and staff. Considerations are supported by calculation example. The approach described in the article can also be used to optimize the potential of railway operating points.*

Autorzy:

prof. nzw. dr hab. inż. **Mariusz Wasiak** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu