

Mariusz Wasiak¹
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Uwarunkowania stosowania modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału systemów przewozowych

WPROWADZENIE

Systemy przewozowe to rodzaj systemów logistycznych wyodrębniony ze względu na rodzaj i zakres przekształceń dokonywanych na przedmiocie pracy. O ile zadania systemów logistycznych to przekształcenia strumieni dóbr materialnych oraz powiązanych z nimi strumieni informacji ze względu na miejsce, czas oraz postać tych strumieni (por. z [1], [2], [6], [7]), to zadania systemów przewozowych można sprowadzić do przekształceń strumieni ładunków ze względu na miejsce (faza przewozu) oraz warunkujących je przekształceń ze względu na postać (operacje ładunkowe). Pozostałe z przekształceń, tj. przekształcenia ze względu na czas występują pomiędzy procesami przewozowymi i w takim sensie mogą być rozpatrywane jako elementy procesów transportowych, tj. procesów, które obejmują jeden lub więcej procesów przewozowych, składowanie przejściowe oraz m.in. przygotowanie ładunku do przewozu, czy też formowanie jednostek ładunkowych.

Poza powyższym, specyfika systemów przewozowych wynika ze stosowanych do ich realizacji środków pracy oraz zasobów ludzkich, jak również uwarunkowań technologicznych oraz organizacyjno-prawnych realizacji procesów przewozowych. Wśród tych ostatnich szczególnie istotne są uwarunkowania planowania pracy kierowców przekładające się bezpośrednio na realizację procesów przewozowych.

Przyjmuje się, że realizacja zadań przez dany system wymaga, aby dysponował on niezbędnymi możliwościami w tym zakresie ([1], [4], [11] i inni). Z istniejących możliwości i ich wykorzystania wynika potencjał danego systemu [1]. W pracy [11] potencjał systemu logistycznego zdefiniowano jako jego zasoby wraz z relacjami między nimi oraz zasady organizacji pracy, które umożliwiają realizację określonych przekształceń strumieni ładunków i związanych z nimi informacji. Ze względu na rodzaje zasobów wyodrębniany jest m.in. potencjał techniczny (środki techniczne poszczególnych rodzajów), potencjał ludzki (pracownicy zatrudnieni na poszczególnych stanowiskach pracy) i potencjał zarządzania (organizacja pracy).

Zadanie logistyczne postawione przed systemem może zostać zrealizowane na różne sposoby. Poczynając od doboru środków pracy, a kończąc na przyjętej w systemie organizacji pracy. Optymalizacja potencjału systemu logistycznego powinna prowadzić do określenia tych spośród dostępnych zasobów i możliwych do stosowania zasad organizacji pracy, które zapewnią efektywną kosztowo realizację zadania logistycznego przy odpowiednim poziomie obsługi.

Celem artykułu jest identyfikacja możliwości optymalizacji potencjału systemów przewozowych za pomocą modelu systemu logistycznego opisanego w [11] oraz potrzeb w zakresie modyfikacji tego modelu. Za istotne przyjęto wykazanie możliwości stosowania modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału systemów przewozowych.

1. MODEL SYSTEMU LOGISTYCZNEGO

1.1. Elementy modelu

Model systemu logistycznego został opisany m.in. w [10], [11], [12] oraz [13]. Opracowano go przy uwzględnieniu istniejących podejść do projektowania systemów logistycznych oraz optymalizacji cząstkowej w tym zakresie opublikowanych m.in. w [2], [5], [7], [8], [9].

¹ mwa@it.pw.edu.pl

Obsługa strumieni ładunków i informacji w systemie logistycznym (SL) wynikająca z postawionego przed nim zadania logistycznego ZL wymaga, aby system ten dysponował odpowiednią strukturą GS opisaną pewnymi charakterystykami FS . Charakterystyki te są funkcją dysponowanych zasobów ZO (m.in. technicznych i ludzkich). Ponadto w każdym systemie logistycznym możliwe jest wyspecyfikowanie pewnych zasad realizacji zadania logistycznego ZR , które przejawiają się stosowanymi technologiami. Zasady te w modelu ujmowane są w ograniczeniach i kryteriach optymalizacji. Uwzględniając przyjęte oznaczenia model systemu logistycznego MSL został zdefiniowany następująco:

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

Założono, że znany jest zbiór $T = \{t : t = 1, \dots, \bar{T}\}$ numerów uwzględnianych chwil pracy SL.

1.2. Formalizacja zadania logistycznego

Przyjęto, że znany jest zbiór $R = \{r : r = 1, \dots, \bar{R}\}$ rodzajów strumieni ładunków obsługiwanych w SL oraz zbiór $P = \{p : p = 1, \dots, \bar{P}\}$ przekształceń tych strumieni realizowanych w systemie. Zbiór P podlega dekompozycji na zbiór przekształceń ze względu na postać PP , czas PT oraz miejsce PM . Każde z przekształceń strumieni ze względu na postać opisywane jest rodzajami strumieni, które są mu poddawane Rp^p i powstających w wyniku jego realizacji Rk^p oraz odpowiadającymi poszczególnym strumieniom charakterystykami ilościowymi przed przekształceniem $Qp^{p,r,t}$ i po przekształceniu $Qk^{p,r,t}$.

Uwzględniając opis ilościowy strumieni ładunków, które powinny być obsłużone w SL (macierz QZ zgłoszeń strumieni ładunków) oraz wymagany zakres ich przekształceń (zbiór P), zadanie logistyczne ZL dla SL zdefiniowano w sposób następujący:

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

1.3. Zasoby systemu logistycznego

Dla danego SL znane są kategorie pracy ludzkiej $L = \{l : l = 1, \dots, \bar{L}\}$, rodzaje środków pracy $S = \{s : s = 1, \dots, \bar{S}\}$ oraz zmiany pracy $ZM = \{zm : zm = 1, \dots, \bar{ZM}\}$, które mogą być w nim stosowane. Oznaczając zbiory charakterystyk elementów tych zasobów i zmian pracy kolejno symbolem FL , Fs , FZM , wektor ZO zdefiniowano następująco:

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

Wśród charakterystyk FL kategorii pracy ludzkiej w modelu uwzględniono: roczny koszt stały pracy KL_l , koszt zmienny pracy przypadający na jednostkę czasu cl_l , koszty rekrutacji, szkoleń i badań wstępnych NL_l , przewidywaną długość okresu zatrudnienia TL_l , wskaźnik gotowości do pracy AL_l^t wskaźnik wykorzystania czasu pracy HL_l^t . Ponadto w zbiorze L wyróżniono podzbiór kategorii pracy ludzkiej, których pracownicy mogą być przydzielane do prac fizycznych LF oraz zdefiniowano zbiory rodzajów strumieni ładunków, które mogą obsługiwać pracownicy poszczególnych kategorii pracy RL_l .

Jako charakterystyki środków pracy poszczególnych rodzajów stanowiące elementy zbioru Fs uwzględniono: roczny koszt stały posiadania bez uwzględnienia odpisów amortyzacyjnych Ks_s , koszt zmienny pracy na jednostkę czasu cs_s , nakłady inwestycyjne na zakup Ns_s , przewidywany okres eksploatacji Ts_s , czasochłonność przebrojenia tp_s , wskaźnik gotowości technicznej As_s^t , wskaźnik wykorzystania czasu pracy Hs_s^t . Uwzględniono również zbiór rodzajów strumieni ładunków obsługiwanych przez środki pracy poszczególnych rodzajów Rs_s i realizowane przez nie przekształcenia strumieni PPs_s .

Dodatkowo dla środków pracy poszczególnych rodzajów i obsługiwanych za ich pomocą strumieni ładunków zdefiniowano zbiory numerów stanowisk pracy koniecznych do ich obsługi No_s^r i zbiory

kategorii pracy ludzkiej dla tych stanowisk pracy Lo_{s,no_s}^r . Analogiczne charakterystyki zdefiniowano dla przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać możliwych do realizacji za pomocą środków pracy poszczególnych rodzajów. Oznaczono je symbolem Np_s^p oraz Lp_{s,np_s}^p .

Charakterystyki F_{ZM} poszczególnych zmian pracy ($zm \in ZM$) obejmują godzinę ich rozpoczęcia tr_{zm} i godzinę zakończenia tz_{zm} .

1.4. Struktura systemu logistycznego

System logistyczny składa się ze zbioru obiektów powiązanych obsługą transportową. Obiekty te są miejscami, w których strumienie materiałów są obsługiwane, np. produkowane, przechowywane, sortowane, sprzedawane lub zużywane [3]. Zatem struktura SL wynika z lokalizacji obiektów stanowiących elementy tego systemu i wyodrębnionych w tych obiektach obszarów funkcjonalnych. W modelu przyjęto, że do zbioru AS elementów SL należą strefy SL stanowiące jego obszary funkcjonalne, w których realizowane są przekształcenia strumieni ze względu na postać oraz ze względu na czas. Natomiast obszary funkcjonalne, w których realizowane są przekształcenia strumieni ze względu na miejsce to elementy zbioru RS powiązań występujących między strefami SL. Zatem strukturę SL formalnie zdefiniowano następująco:

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

W zbiorze AS wyróżniono źródła strumieni ładunków $Z = \{z : z = 1, \dots, \bar{Z}\}$ oraz strefy SL $W = \{w : w = 1, \dots, \bar{W}\}$, w których są realizowane przekształcenia ze względu na postać oraz czas. Następnie zbiór stref SL został zdekomponowany na zbiór obszarów, w których są realizowane przekształcenia strumieni ze względu na postać WP oraz zbiór obszarów, w których są realizowane przekształcenia strumieni ze względu na czas WT . Zatem:

$$AS = Z \cup W = Z \cup WP \cup WT \quad (5)$$

Na potrzeby badań zbiór RS zdekomponowano na zbiór powiązań między źródłami strumieni ładunków a wyróżnionymi w SL strefami $RS_{ZW} = \{(z, w) \in Z \times W\}$ i zbiór powiązań między wyróżnionymi w SL strefami $RS_{WW} = \{(w', w) \in W \times W : w \neq w'\}$. W zbiorze RS wyróżniono też zbiór RM powiązań między elementami SL, które odwzorowują przekształcenia strumieni ze względu na miejsce i zbiór RF powiązań formalnych między jego elementami.

1.5. Charakterystyki elementów struktury systemu logistycznego

Wśród charakterystyk elementów struktury SL wyróżniono charakterystyki źródeł strumieni ładunków F_z , charakterystyki obszarów funkcjonalnych, w których są realizowane przekształcenia ze względu na postać F_{WP} , czas F_{WT} oraz miejsce F_{RM} , a także charakterystyki połączeń formalnych między strefami systemu F_{RF} . Zatem:

$$FS = F_z \cup F_{WP} \cup F_{WT} \cup F_{RM} \cup F_{RF} \quad (6)$$

Charakterystyki F_z źródeł strumieni ładunków to rodzaje strumieni ładunków w nich generowanych Rz_z oraz wielkości ich zgłoszeń w kolejnych chwilach $qz_z^{r,t}$.

Wśród charakterystyk F_{WP} elementów zbioru obszarów, w których są realizowane przekształcenia strumieni ładunków ze względu na postać uwzględniono: zbiór rodzajów obsługiwanych strumieni ładunków Rw_w , pojemności miejsc oczekiwania na obsługę Pw_w^r określone w liczbie jednostek ładunków poszczególnych rodzajów, zbiór dostępnych rodzajów środków pracy Sw_w , kategorii pracy ludzkiej Lw_w oraz kategorii pracy ludzkiej, których pracownicy mogą być przydzielani do realizacji przekształceń zamiast środków pracy Fw_w . Ponadto uwzględniono zbiór numerów dopuszczalnych zmian pracy Zw_w , zbiór realizowanych przekształceń strumieni ładunków PPw_w oraz zbiory przekształceń możliwych do realizacji za pomocą środków pracy poszczególnych rodzajów i przez pracowników poszczególnych kategorii pracy

ludzkiej oznaczone jako $P_{ws_{w,s}}$ i $P_{wl_{w,l}}$. W zbiorze F_{WP} uwzględniono też prawdopodobieństwa $p_w^{p,r,t}$ przekształceń ze względu na postać strumieni poszczególnych rodzajów ($r \in \mathbf{Rp}^p$), liczby przekształceń możliwych do jednoczesnego wykonania za pomocą środków pracy $N_{PS_{w,s}^p}$ i czasy ich realizacji $t_{PS_{w,s}^p}$, a także liczby przekształceń możliwych do jednoczesnego wykonania przez pracowników dostępnych kategorii pracy bez zastosowania środków pracy $N_{PL_{w,l}^p}$ i czasy ich realizacji $t_{PL_{w,l}^p}$.

Charakterystyki F_{WT} stref SL, w których są realizowane przekształcenia strumieni ładunków ze względu na czas obejmują opisane wcześniej parametry R_{w_w} , $P_{w_w}^r$, S_{w_w} , L_{w_w} , F_{w_w} , Z_{w_w} oraz numer rodzaju realizowanego przekształcenia pt_w , liczby strumieni ładunków ($r \in \mathbf{Rs}_s \cap \mathbf{R}_{w_w}$) możliwych do jednoczesnej obsługi za pomocą środków pracy dostępnych rodzajów $N_{TS_{w,s}^r}$ i czasy ich obsługi $t_{TS_{w,s}^r}$, a także liczby strumieni ładunków ($r \in \mathbf{R}_{L_l} \cap \mathbf{R}_{w_w}$) możliwych do jednoczesnej obsługi przez pracowników fizycznych dostępnych kategorii pracy bez zastosowania środków pracy $N_{TL_{w,l}^r}$ i czasy ich obsługi $t_{TL_{w,l}^r}$.

Elementy zbioru powiązań między strefami SL, które odwzorowują przekształcenia strumieni ładunków ze względu na przestrzeń opisano uwzględniając charakterystyki F_{RM} obejmujące: zbiór rodzajów obsługiwanych strumieni ładunków $\mathbf{R}_{R_{w',w}}$, prawdopodobieństwa skierowania do nich poszczególnych strumieni ładunków $p_{w',w}^{r,t}$, pojemności miejsc oczekiwania na obsługę określone w liczbie jednostek ładunków poszczególnych rodzajów $P_{M_{w',w}^r}$, zbiór dostępnych środków pracy $S_{M_{w',w}}$, kategorii pracy ludzkiej $L_{M_{w',w}}$ oraz kategorii pracy ludzkiej odpowiadających pracownikom fizycznym $F_{M_{w',w}}$, zbiór dostępnych zmian pracy $Z_{M_{w',w}}$, numer rodzaju realizowanego przekształcenia $pm_{w',w}$.

W zbiorze F_{RM} ujęto także liczby strumieni ładunków ($r \in \mathbf{Rs}_s \cap \mathbf{R}_{R_{w',w}}$) możliwych do jednoczesnej obsługi za pomocą środków pracy dostępnych rodzajów $N_{MS_{w',w,s}^r}$ i czasy ich obsługi $t_{MS_{w',w,s}^r}$, a także liczby strumieni ładunków ($r \in \mathbf{R}_{L_l} \cap \mathbf{R}_{R_{w',w}}$) możliwych do jednoczesnej obsługi przez pracowników fizycznych poszczególnych kategorii pracy bez zastosowania środków pracy $N_{ML_{w',w,l}^r}$ i czasy ich obsługi $t_{ML_{w',w,l}^r}$.

Elementy zbioru formalnych powiązań występujących w systemie logistycznym opisano uwzględniając charakterystyki F_{RF} obejmujące: zbiór rodzajów przemieszczanych nimi strumieni ładunków $\mathbf{R}_{R_{w',w}}$ oraz prawdopodobieństwa przejścia tych strumieni $p_{w',w}^r$.

2. ZAŁOŻENIA OPTIMALIZACJI SYSTEMÓW PRZEWOZOWYCH

Dokładne odwzorowanie procesów przewozowych wymaga uwzględnienia przekształceń strumieni ładunków, ze względu na miejsce oraz ze względu na postać. Należy jednak zaznaczyć, że w niektórych przypadkach przekształcenia strumieni ładunków ze względu na postać mogą być traktowane jako elementy przekształceń strumieni ładunków ze względu na miejsce oraz w konsekwencji ich szczegółowa analiza nie musi być prowadzona.

Realizowane w podsystemach przewozowych przekształcenia strumieni ładunków ze względu na postać są istotne ze względu na bierne zaangażowanie środków przewozowych. Natomiast zasoby konieczne do realizacji operacji ładunkowych zwykle nie podlegają wymiarowaniu. Niejednokrotnie poszczególne punkty obsługi ładunkowej są elementami wielu niezależnych systemów przewozowych i z punktu widzenia jednego systemu przewozowego nie mogą być wymiarowane.

Ponadto zgodnie z wcześniejszymi uwagami w podsystemach przewozowych nie są brane pod uwagę przekształcenia strumieni ładunków ze względu na czas (choć dla uproszczonego podejścia mogą być one uwzględniane zamiast przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać – wówczas, gdy nie są

analizowane zmiany ilościowe oraz jakościowe, które zachodzą w strumieniach ładunków podczas ich przekształceń ze względu na postać).

Sformułowany w pracy [11] model nie umożliwi planowania tras przewozu, konieczne jest zatem przyjęcie, że znane są zadania przewozowe oraz niezbędne do ich realizacji cykle pracy środków przewozowych, przy czym mogą być one ustalone wariantowo. Zatem istotnym założeniem upraszczającym jest przyjęcie, że trasy przewozu są znane i nie ulegają modyfikacji podczas optymalizacji potencjału systemu przewozowego. Wymaga to rozwiązania zagadnienia planowania cykli przewozowych na etapie przygotowywania danych do modelu.

Poza powyższym zakłada się też znajomość możliwych do zastosowania wariantów rozwiązań technologicznych oraz rozwiązań organizacyjnych. Tym samym jako ustalone i znane traktowane są możliwe do zastosowania do obsługi poszczególnych strumieni ładunków środki przewozowe, urządzenia ładunkowe, jak również zespoły pracowników. Ustalone są również plany pracy kierowców warunkujące czas obsługi transportowej poszczególnych cykli przewozowych.

Przyjmuje się również, że koszty zmienne realizacji przewozu z wystarczającą dokładnością można opisać za pomocą jednostkowych kosztów zależnych od czasu pracy (realizacji cyklu przewozowego). Zatem również na etapie przygotowania danych oraz generowania wariantowych rozwiązań niezbędne jest wyznaczenie dla nich rzeczywistych kosztów zmiennych transportu i ich przeliczenie na koszty zależne od czasu realizacji cykli przewozowych (przy założeniu znajomości czasu realizacji cykli przewozowych za pomocą środków pracy poszczególnych rodzajów nie stanowi to problemu).

Poza opisanymi założeniami upraszczającymi optymalizacji potencjału systemów przewozowych, uwzględniane są wszelkie założenia wynikające z odwzorowania systemu logistycznego za pomocą przyjętego modelu, w tym m.in. dotyczące znajomości współczynników gotowości technicznej środków pracy, możliwości ich obsługi przez pracowników zatrudnionych na różnych stanowiskach pracy, czy też możliwości realizacji poszczególnych przekształceń strumieni ładunków za pomocą różnych środków pracy i przez pracowników różnych kategorii pracy ludzkiej.

3. STUDIA PRZYPADKÓW

Dla ukazania możliwości zastosowania modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału systemów przewozowych wykonano obliczenia² dla dwóch przypadków:

- bezpośrednio przewozy międzynarodowe ładunków realizowane pojazdami członowymi prowadzonymi przez jednego lub przez dwóch kierowców,
- bezpośrednio przewozy ładunków wymagające zastosowania pojazdów o różnej ładowności.

Przypadek 1 – przewozy międzynarodowe ładunków

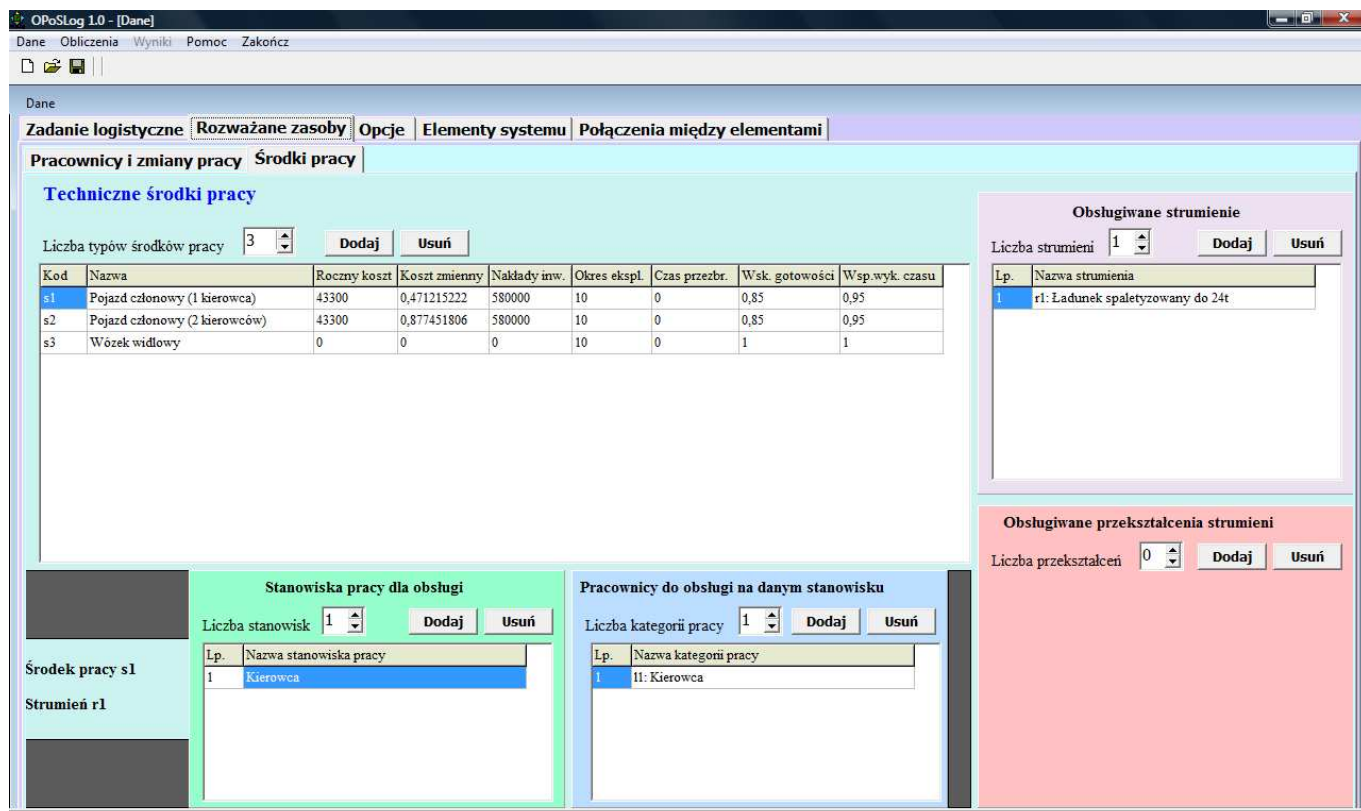
W pierwszym przypadku uwzględniono następujące cykle przewozowe:

- Polska – Niemcy – Polska,
- Polska – Francja – Polska,
- Polska – Czechy – Polska,
- Polska – Rosja – Polska.

W obliczeniach jako dwa typy środków przewozowych uwzględniono pojazd członowy prowadzony przez 2 kierowców oraz pojazd członowy prowadzony przez 1 kierowcę różniące się kosztem zmiennym przewozu ustalonym przy uwzględnieniu jedynie składników wynagrodzeń obejmujących m.in. koszty płac zasadniczych, dyżuru, diet oraz noclegów. Pozostałe koszty realizacji przewozu obejmujące zużycie materiałów eksploatacyjnych, czy też np. opłaty za korzystanie z infrastruktury transportowej są niezależne od wariantu obsady pojazdów, zatem je pominięto. Na wybór wariantu, poza kosztami pracy, mają wpływ koszty stałe eksploatacji pojazdów obejmujące przede wszystkim ubezpieczenia komunikacyjne koszty

² Obliczenia wykonano za pomocą aplikacji OPoSLog korzystając z modułu optymalizacji statycznej potencjału SL.

okresowych przeglądów pojazdów, jak również podatki od środków transportu. Uwzględnione wartości parametrów pojazdów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Środki pracy wykorzystywane do realizacji przewozów międzynarodowych (przypadek 1)

Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).

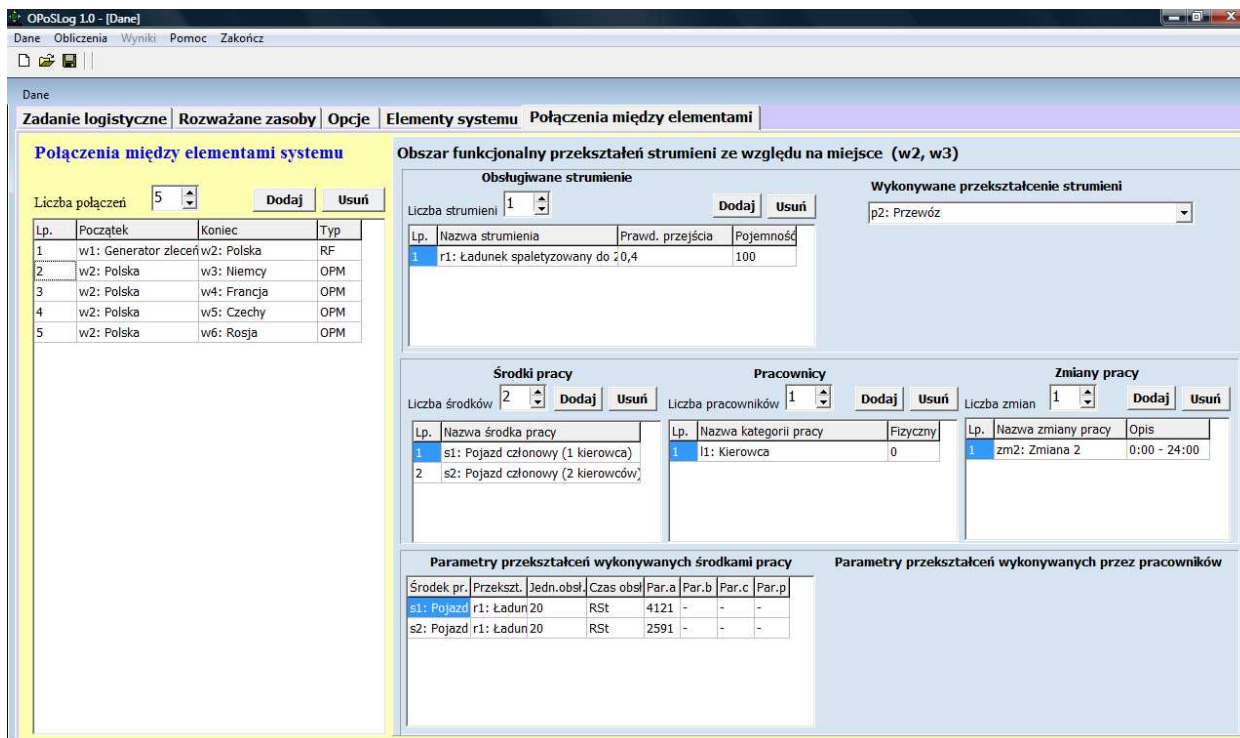
Przy uwzględnieniu najszybszych tras przewozu zostały opracowane harmonogramy realizacji poszczególnych cykli przewozowych przez 1 kierowcę oraz harmonogramy realizacji przewozu przez 2 kierowców. Pozwoliło to określić czas realizacji cykli przewozowych wg poszczególnych wariantów oraz koszty przewozu. Przyjęty w programie OPoSLog opis tras przewozu na przykładzie trasy Polska – Niemcy – Polska przedstawiono na rys. 2.

Przyjęto, że do obsługi w analizowanym systemie średnio co dwa dni kierowanych jest średnio 47 t spaletyzowanego ładunku (masa jłp to około 0,7 t, zaś masa ładunku jednorazowa przewożonego to około 20 t).

Wyniki z przeprowadzonych dla przypadku 1 obliczeń wykazały, że do obsługi uwzględnionych kierunków przewozu wystarczą trzy pojazdy, pod warunkiem, że 1 z nich będzie prowadzony przez 1 kierowcę, zaś 2 pozostałe – przez załogi dwuosobowe (potrzebnych jest więc pięciu kierowców). Optymalne obciążenie pojazdów i załóg dla rozpatrywanych cykli przewozowych jest następujące:

- Polska – Niemcy – Polska: 258 193 min/rok pojazd prowadzony przez dwóch kierowców,
- Polska – Francja – Polska: 260 715 min/rok pojazd prowadzony przez jednego kierowcę,
- Polska – Czechy – Polska: 47 426 min/rok pojazd prowadzony przez jednego kierowcę i 71 133 min/rok pojazd prowadzony przez dwóch kierowców,
- Polska – Rosja – Polska: 244 839 min/rok pojazd prowadzony przez dwóch kierowców.

Dla wyznaczonego rozwiązania zdyskontowane wydatki na utworzenie i eksploatację systemu przewozowego to 9 086,6 tys. zł / okres eksploatacji równy dziesięć lat, tj. 908,7 tys. zł rocznie.

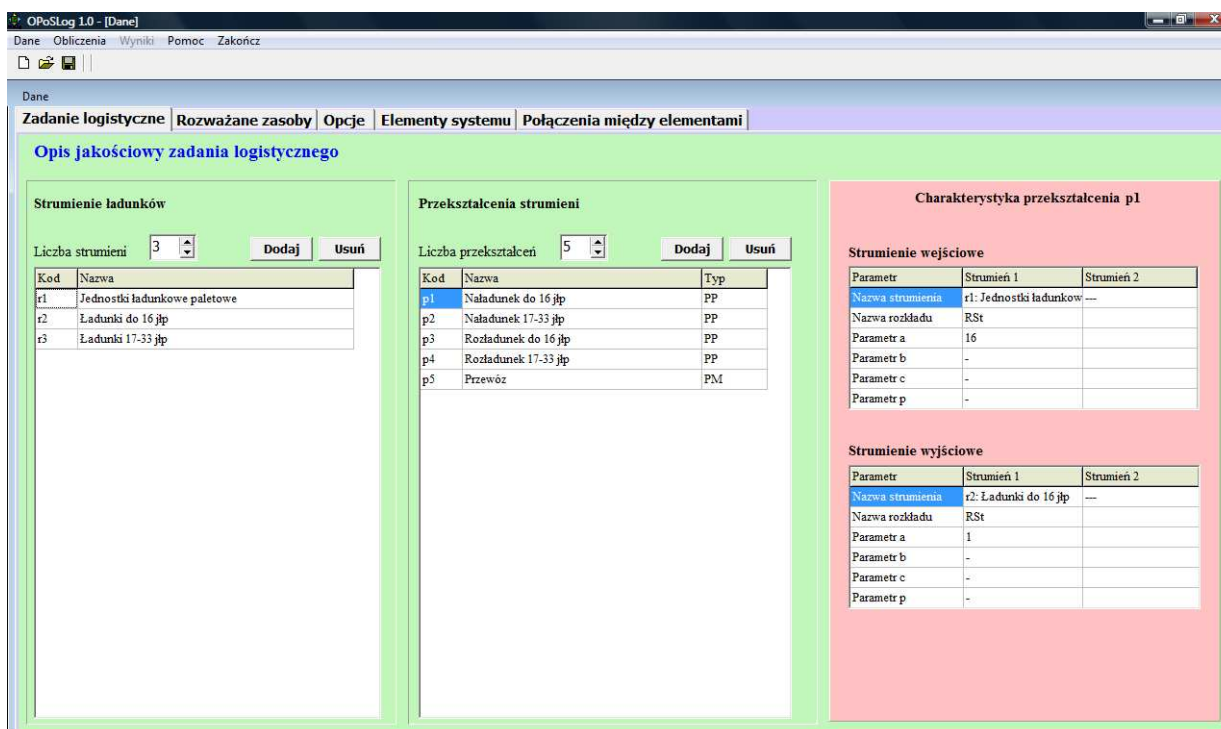


Rys. 2. Warianty obsługi transportowej relacji przewozu Polska – Niemcy (przypadek 1)

Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).

Przypadek 2 – przewozy o różnej wielkości

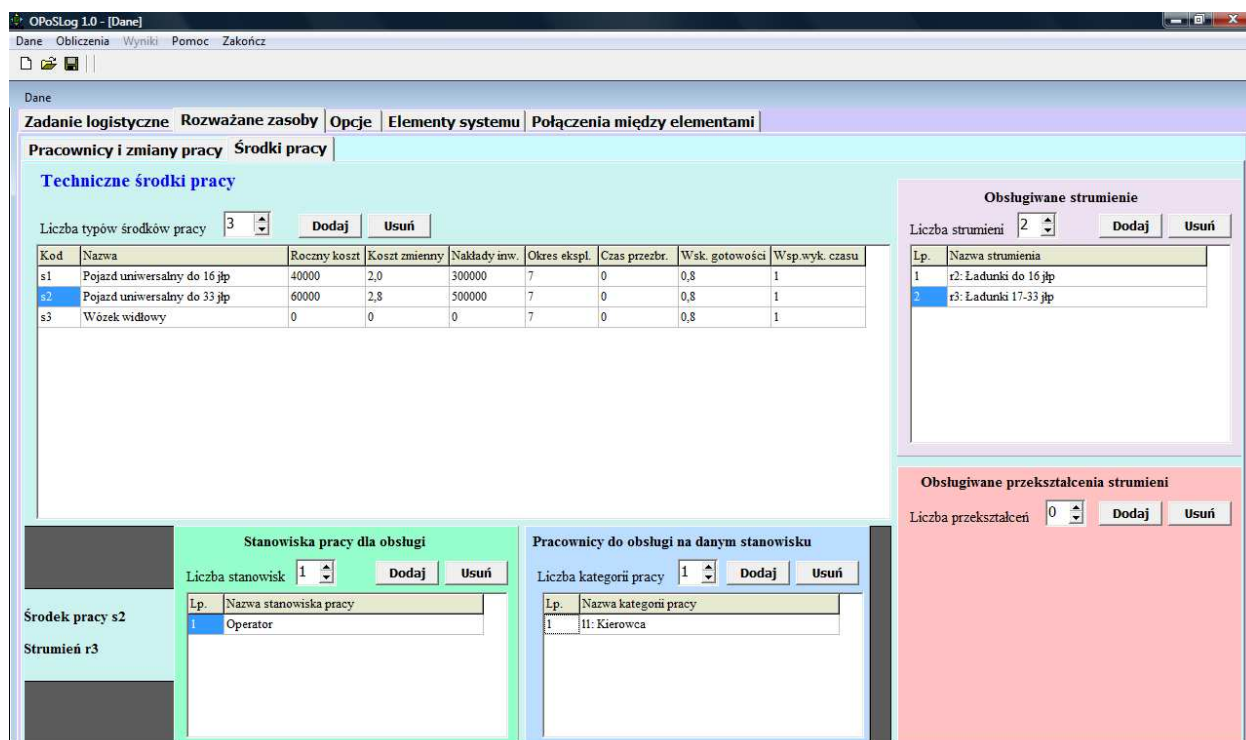
Na potrzeby optymalizacji potencjału przewozowego niezbędnego do obsługi przewozów o różnej wielkości uwzględnione zostały trzy strumienie ładunków (jednostki ładunkowe paletowe – jłp, ładunki o wielkości do 16 jłp, ładunki o wielkości 17–33 jłp) oraz pięć przekształceń strumieni ładunków (naładunek do 16 jłp, naładunek 17–33 jłp, rozładunek do 16 jłp, rozładunek 17–33 jłp i przewóz). Przyjęto deterministyczny opis przekształceń strumieni ładunków ze względu na postać (patrz rys. 3).



Rys. 3. Strumienie ładunków i ich przekształcenia (przypadek 2)

Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).

Do realizacji zadań przewozowych założono możliwość wykorzystania dwóch typów pojazdów uniwersalnych różniących się ładownością oraz prowadzonych przez jednego lub dwóch kierowców (w zależności od zadania przewozowego). Ponadto na potrzeby obliczeń uwzględniono wózek widłowy wraz z operatorem niezbędny do realizacji operacji ładunkowych. Uwzględnione w obliczeniach parametry środków pracy przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Środki pracy wykorzystywane do realizacji przewozów (przypadek 2)

Źródło: opracowanie własne (program OPOsLog).

W strukturze systemu przewozowego uwzględnione zostało źródło strumieni ładunków oraz dwóch nadawców i trzech odbiorców. Założono, że nadawca A wysyła dostawy nie większe niż 16 jłp do odbiorcy A1 oraz dostawy o wielkości 17–33 jłp do odbiorcy A2. Nadawca B wysyła dostawy nie większe niż 16 jłp do odbiorcy B. Ze względów technicznych dostawy nie większe niż 16 jłp mogą być realizowane pojazdami o pojemności 16 jłp lub pojazdami o pojemności 33 jłp, zaś dostawy o wielkości 17–33 jłp – jedynie pojazdami o pojemności 33 jłp. Charakterystyki nadawcy A przedstawiono na rys. 5, zaś charakterystyki przewozu w relacji nadawca B – odbiorca B – na rys. 6.

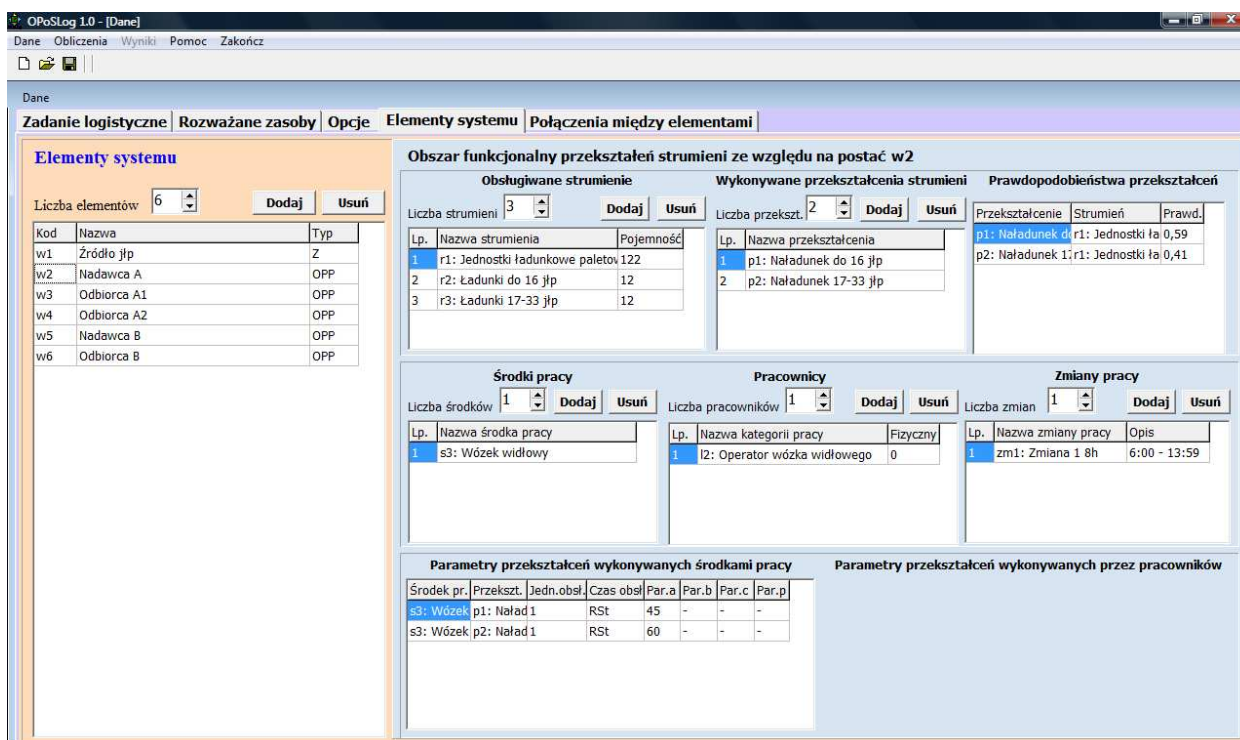
Przyjęto, że do obsługi w analizowanym systemie w poszczególne dni tygodnia przeciętnie są kierowane następujące liczby jednostek ładunkowych paletowych: poniedziałek – 150 jłp, wtorek – 255 jłp, środa – 155 jłp czwartek – 156 jłp, piątek – 266 jłp.

W wyniku przeprowadzanych obliczeń uzyskano następujący optymalny potencjał przewozowy analizowanego systemu, który jest niezbędny do realizacji uwzględnionych zadań przewozowych:

- 26 pojazdów uniwersalnych o pojemności 16 jłp,
- 6 pojazdów uniwersalnych o pojemności 33 jłp,
- 47 kierowców.

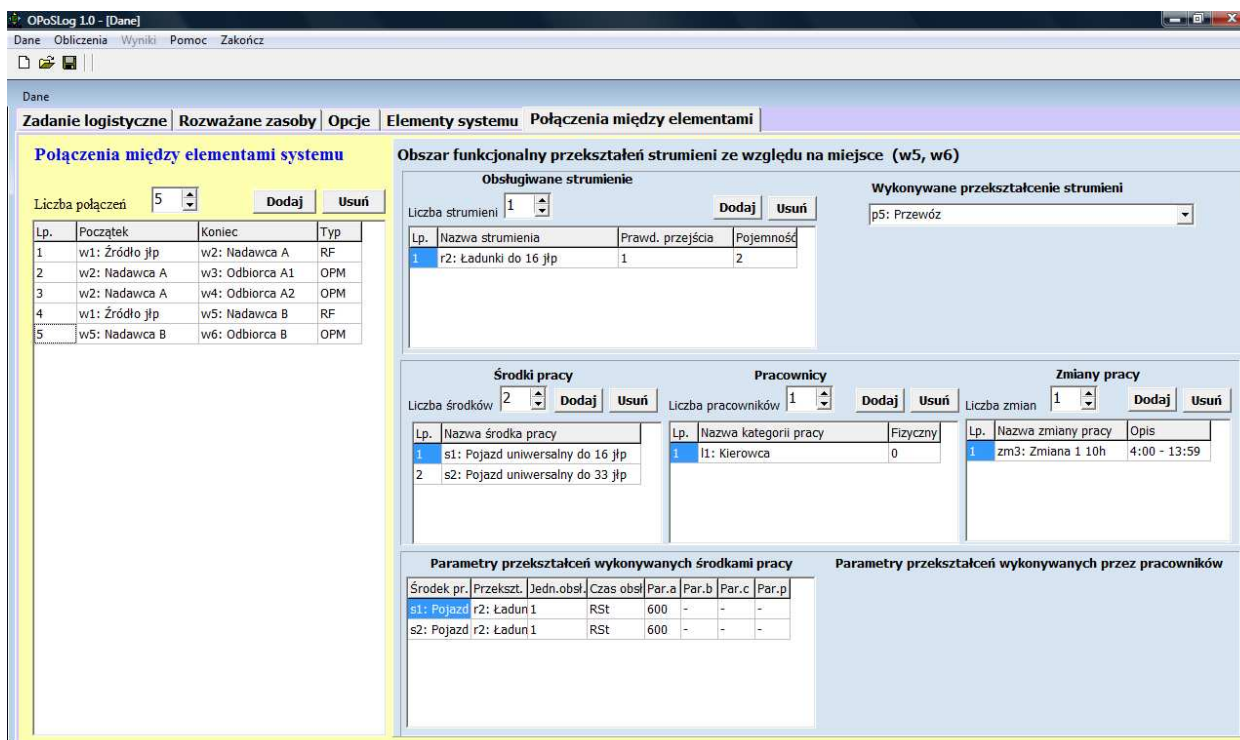
Ponadto ustalono, że pojazdy uniwersalne o pojemności 16 jłp powinny być wykorzystywane do obsługi przewozów ładunków nie większych niż 16 jłp między nadawcą A oraz odbiorcą A1 (roczny czas zaangażowania pojazdów to 2 490 600 min) oraz do przewozów ładunków nie większych niż 16 jłp między nadawcą B oraz odbiorcą B (roczny czas zaangażowania pojazdów to 801 221 min). Pojazdy uniwersalne o pojemności 33 jłp powinny być wykorzystywane do obsługi przewozów ładunków o wielkości 17–33 jłp między nadawcą A oraz odbiorcą A2 (roczny czas zaangażowania pojazdów to 878 400 min) oraz do przewozów ładunków nie większych niż 16 jłp między nadawcą B oraz odbiorcą B (roczny czas zaangażowania pojaz-

dów to 2 779 min) – rys. 7. Zatem wykonane obliczenia wskazały opłacalność częściowej obsługi przewo-
zów nie większych niż 16 jłp pojazdami o pojemności 33 jłp.



Rys. 5. Charakterystyki nadawcy A (przypadek 2)

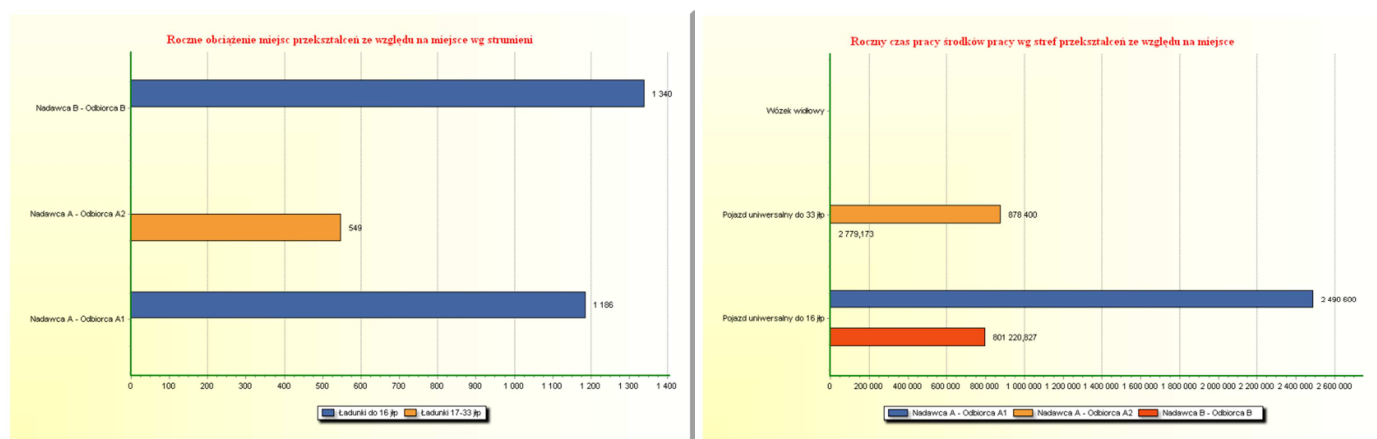
Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).



Rys. 6. Charakterystyki relacji przewozu nadawca B – odbiorca B (przypadek 2)

Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).

Uzyskane dla przypadku 2 zdyskontowane wydatki na utworzenie i eksploatację systemu przewo-
wego to 90 153,5 tys. zł / okres eksploatacji równy siedem lat, tj. 12 879,1 tys. zł rocznie.



Rys. 6. Roczne obciążenie relacji przewozu oraz środków pracy (przypadek 2)

Źródło: opracowanie własne (program OPoSLog).

4. WNIOSKI

Przeprowadzone w artykule rozważania wykazały, że opisany w [11] model systemu logistycznego może być stosowany również do optymalizacji potencjału systemów przewozowych różnych klas. Wykonane obliczenia pozwoliły ustalić potencjał przewozowy niezbędny do obsługi przewozów międzynarodowych oraz do obsługi zadań przewozowych o różnej wielkości. Możliwe jest również zastosowanie modelu systemu logistycznego do optymalizacji potencjału przewozowego wymaganego w przewozach specjalnych nienormatywnych, czy też o dużej wartości wymagających w zależności od wartości jednorazowo przewożonych ładunków dodatkowych zabezpieczających środków technicznych oraz ochrony.

Należy z jednej strony zauważyć duże możliwości opracowanego modelu pod względem odwzorowania różnych właściwości systemów logistycznych, zaś z drugiej pewne istotne ograniczenia modelu wymagające przyjmowania wielu założeń upraszczających. Ograniczenia te są szczególnie wyraźne w odniesieniu do optymalizacji systemów przewozowych.

Jednym z istotnych zagadnień podczas optymalizacji systemów przewozowych jest planowanie tras przewozu dla obsługi przesyłek drobnicowych, czy też częściowych, jak również planowanie cykli pracy dla środków przewozowych. Zagadnienia te muszą być rozwiązane (wariantowo) przed wykonaniem obliczeń za pomocą modelu optymalizacji potencjału systemów logistycznych. Równie istotnym problemem w planowaniu przewozów są uwarunkowania prawne organizacji pracy kierowców, które także muszą być uwzględnione na etapie przygotowywania danych wejściowych do modelu optymalizacyjnego.

Ponadto, mimo wykazania przydatności modelu do optymalizacji potencjału różnych systemów przewozowych, należy zauważyć jego następujące ograniczenia w tym zakresie:

- obecnie możliwe jest uwzględnianie kosztów zmiennych jednakowych dla poszczególnych środków przewozowych niezależnie od realizowanych przez nie zadań. W transporcie można zauważyć istotne zróżnicowanie kosztów przewozu w funkcji wielkości zadania przewozowego oraz relacji przewozu (diety kierowców, opłaty drogowe), zatem na potrzeby optymalizacji systemów przewozowych istotne jest zapewnienie możliwości definiowania jednostkowych kosztów przewozu również dla poszczególnych przekształceń strumieni ładunków ze względu na miejsce realizowanych na połączeniach między strefami SL.
- jednostkowe koszty przewozu są uwzględniane jako zależne od czasu pracy, zaś w transporcie istotny jest podział kosztów na zmiennych na koszty zależne od czasu pracy oraz na koszty zależne od przebiegu (w tym przede wszystkim koszty zużycia paliwa). W rozpatrywanych w artykule przypadkach przyjęto, że koszty zależne od przebiegu mogą być pominięte ze względu na zakres porównywanych wariantów technologicznych, jednak w ogólnym przypadku, przy uwzględnieniu problemu planowania tras przewozu koszty zależne od przebiegu nie mogą być pomijane.

- Uwzględniane jako współczynnik wykorzystanie czasu pracy środków przewozowych w praktyce jest różne dla różnych cykli przewozowych i wynika z „planu obiegu” środków przewozowych. Zatem uwzględniając w modelu zagadnienie planowania cykli pracy pojazdów należy zmodyfikować również przyjęty opis wykorzystania czasu pracy środków pracy oraz pracowników.

Biorąc pod uwagę powyższe, na potrzeby optymalizacji potencjału systemów przewozowych, zasadne jest pojęcie działań zamierzających do uwzględnienia w modelu systemu logistycznego bardziej rozbudowanej formy opisu kosztów zmiennych, jak również ujęcie w modelu przynajmniej podstawowych uwarunkowań dotyczących planowania pracy kierowców, czy też planowania cykli przewozowych.

Streszczenie

Model systemu logistycznego oraz sformułowane zadania optymalizacji potencjału systemów logistycznych, które zostały przedstawione w pracy [11], dzięki dość rozbudowanym postaciom, stanowią propozycję uogólnienia problematyki wyznaczania potencjału systemów logistycznych różnych klas. Pozwalając uwzględnić wiele aspektów realizacji przekształceń strumieni ładunków są konfigurowalnym narzędziem wyznaczania potencjału różnych systemów logistycznych, choć – mimo ich dużej szczegółowości – niejednokrotnie przy wielu założeniach upraszczających. Można zauważyć, że model systemu logistycznego na potrzeby optymalizacji systemów logistycznych niektórych typów powinien być modyfikowany. W artykule przedstawiono uwarunkowania optymalizacji potencjału systemów przewozowych za pomocą modelu optymalizacji systemów logistycznych. Sformułowano również wnioski dotyczące modyfikacji modelu optymalizacji systemów logistycznych na potrzeby jego stosowania do optymalizacji potencjału systemów przewozowych.

Słowa kluczowe: system logistyczny, optymalizacja potencjału systemu logistycznego, systemy przewozowe.

Applying model of logistics system into optimization of transportation system potential

Abstract

The model of the logistics system and formulation of the optimization task to optimize logistics system potential were presented in [11]. The extended forms of model are proposition to generalize issues of finding the potential of logistics systems of different classes. So as to address many aspects of the implementation of the cargo flows transformation they are configurable tool for determining the potential of different logistics systems, though - despite high detail - often on a number of simplifying assumptions. It may be noted that the model of logistic system for optimization of logistics systems of certain types should be modified. The paper presents conditions of transport systems potential optimization with using the optimization model optimization of logistics systems. The conclusions about modification of the model of logistics system optimization in support of its application to optimize the potential of transport systems were formulated.

Key words: logistics system, optimization of logistics systems potential, transportation system.

LITERATURA

- [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] Jacyna M., Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [5] Jacyna M., Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [6] Pfohl H.Ch., Systemy logistyczne, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1998.
- [7] Piasecki S., Sieciowe modele symulacyjne do wyznaczania strategii rozwoju przedsiębiorstw (teoria i praktyka), Instytut Interfakcji, Warszawa 2000.

- [8] Powell W.B., Real-time Dispatching for Truckload Motor Carriers, w: G.D. Taylor (ed.), Logistics Engineering Handbook, Chapter 15, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008.
- [9] Vazacopoulos A., Verma N., Hybrid MIP-CP techniques to solve a multi-machine assignment and scheduling problem in XPRESS-CP, w: P.M. Pardalos, D.W. Heam (ed.): Supply chain optimization, Chapter 12, Springer, New York 2005
- [10] Wasiak M., Formal notation of a logistic system model taking into consideration cargo stream transformations, Warszawska Drukarnia Naukowa PAN, Archives of Transport, Vol. 23, Iss. 1, ISSN 0866-9546, Warszawa 2011.
- [11] Wasiak M., Modelowanie przepływu ładunków w zastosowaniu do wyznaczania potencjału systemów logistycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Prace Naukowe Transport, z. 79, ISSN 1230-9265, Warszawa 2011.
- [12] Wasiak M., Optimization of a potential of logistics system. [w:] Selvaraj H., Zydek D. (ed.): ICSEng 2011, Proceedings of 21st International Conference on Systems Engineering, ISBN 978-0-7695-4495-3, IEEE Computer Society, USA, California, Los Alamitos.
- [13] Wasiak M., The problem of cargo stream transformations in logistic system optimization – rozdział 5. [w:] Fertsch M., Grzybowska K. (ed.): Logistics in the enterprises – selected aspects, Monograph, ISBN 978-83-7143-94-6-9. Publishing House of Poznan University of Technology, Poland, Poznan 2010.