

MODELOWANIE DZIAŁAŃ SYSTEMU TRANSPORTOWEGO CIAĞŁOŚCI NIEZAWODNEJ PRACY ŚRODKÓW TRANSPORTU

Rozważania zamieszczone w artykule dotyczą problematyki modelowania działań systemu transportowego, którego celem jest optymalne rozłożenie przepływu ładunków w sieci transportowej, przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności rozdysponowania pojazdów do realizacji zadań transportowych. W artykule przedstawiono metody projektowania organizacji procesu przewozowego oraz analizę systemu transportowego z wykorzystaniem sieci Petriego.

WSTĘP

Aktualnie przedsiębiorstwa transportowe poszukują oszczędności kosztów, poprawy jakości oraz skrócenia czasu realizacji procesów transportowych – bowiem aspekty te odgrywają istotną rolę zarówno dla przedsiębiorstwa, jak i dla klienta. W sferze logistyki osiągnięcie tych celów możliwe jest poprzez wyeliminowanie zakłóceń występujących w przepływie ładunków. W przemieszczaniu ładunków od producentów do odbiorców bierze udział wielu uczestników, m.in. operatorów logistycznych, spedytorów, przewoźników, którzy działają w zakresie produkcji, zaopatrzenia oraz przewozu. Zatem niezbędne staje się skoordynowanie wszystkich działań. Aby przepływ ładunków przebiegał bez zakłóceń należy zintegrować fizyczny przepływ ładunków i związanych z nim informacji w ramach sprawnie funkcjonującego systemu logistycznego. System logistyczny w tym przypadku można rozpatrywać jako układ pięciu podsystemów, tj. zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji, transportu oraz magazynowania. Warto dodać, iż efektywność w ten sposób rozumianego systemu logistycznego, zależy od efektywności podsystemów, które go tworzą.

1. METODY PROJEKTOWANIA ORGANIZACJI PROCESU PRZEWOZOWEGO

Procesy transportu ładunków stanowią element integracyjny dla wszystkich podsystemów, natomiast sprawna obsługa strumieni ładunków zależy przede wszystkim od realizowanych operacji transportowych, które wymagają przeprowadzenia odpowiednich czynności, tj. planowania, organizowania oraz kontrolowania. Tak więc problem projektowania działań systemu przewozowego może być zdefiniowany jako:

1. ogólne wyznaczenie trasy,
2. optymalizacja trasy,
3. wyznaczenie trasy standardowej poprzez:
 - metodę statyczną, w której raz przydzielona trasa jest niezmienna, aż do momentu jej zakończenia,
 - metodę okien czasowych, w której część trasy może być obsługiwana przez inny pojazd w określonych oknach czasu,
 - metodę dynamiczną, w której obsługiwane trasy jest przydzielone dynamicznie do poruszającego się pojazdu.

Z powyższego wynika, iż proces projektowania uwzględni istotne aspekty m.in.:

- topografię dróg transportowych,
- zarządzanie ruchem pojazdów – przewidywanie i wybór najodpowiedniejszej trasy,
- dostosowanie środków transportu do zleceń transportowych,
- wydawanie dyspozycji przez spedytora,
- harmonizowanie pracy pojazdów,
- lokalizowanie wolnych pojazdów,
- obsługę uszkodzonych pojazdów.

W efekcie przedsiębiorstwa transportowe zrealizują osiągnięcie następujących celów:

- maksymalizacja przepustowości systemu przewozowego, zwiększenie liczby przewiezionych ładunków w jednostce czasu,
- minimalizacja czasu niezbędnego do zrealizowania wszystkich zadań transportowych,
- minimalizacja czasu przejazdu pojedynczych środków transportu,
- równomierne obciążenie zadaniami wszystkich dostępnych pojazdów,
- minimalizacja kosztów transportu,
- minimalizacja opóźnień czasowych,
- minimalizacja czasu oczekiwania na załadunek/ rozładunek.

W planach przepływu ładunków problemem staje się rozdysponowanie pojazdów w taki sposób, aby zminimalizować czas realizacji zadań transportowych przy jednoczesnym zapewnieniu terminowej obsługi. Wyróżnić można dwa podejścia do projektowania sieci transportowych:

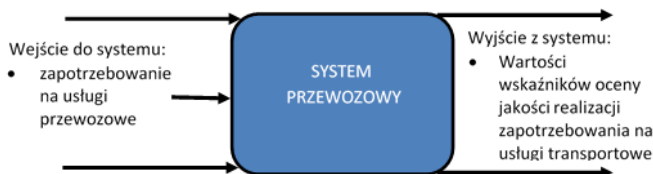
1. ustalanie kierunku ruchu środków transportu i ilości towarów na trasach przejazdu – tutaj celem jest minimalizacja długości tras pokonywanych przez pojazdy, co w rzeczywistości przekłada się na redukcję kosztów zmiennych transportu,
2. planowanie odpowiedniego przepływu ładunków względem zleceń transportowych [8].

Ponadto dobrym rozwiązaniem w projektowaniu systemu przewozowego jest metoda, w której zamiast optymalizacji długości trasy przejazdu zastosowano optymalizację czasu przejazdu, a także metody oparte na idei sieci Petriego.

2. ROZDYSPONOWANIE POJAZDÓW DO REALIZACJI ZADAŃ TRANSPORTOWYCH

Podczas przepływu ładunków dochodzi do zamierzonych zmian współrzędnych miejsca i czasu. Zmiany te określane są jako przekształcenia strumieni ładunków ze względu na miejsce oraz

czas. Co więcej przekształcenia strumieni ładunków realizowane są w systemach logistycznych za pomocą pewnych zasobów materialnych, ludzkich i organizacyjnych [7]. W takim ujęciu system logistyczny stanowi układ środków technicznych, organizacyjnych, a także zasobów ludzkich niezbędnych do realizacji przekształceń strumieni ładunków. W rezultacie efektywnie działający system przewozowy jest warunkiem sprawnego przepływu ładunków.



Rys.1. Schemat systemu przewozowego [opracowanie własne]

Bardzo ważną rolę odgrywa w tym przypadku również system zarządzania transportem, umożliwiający sterowanie pojazdami. Zadaniem takiego systemu jest podjęcie decyzji kiedy, gdzie i w jaki sposób pojazdy powinny być rozdysponowane w celu realizacji zadań, w tym także decyzji dotyczących tras, po których pojazdy będą się poruszały. W przypadku gdy wszystkie zadania są znane w momencie rozpoczęcia planowania, wówczas problem planowania ma charakter statyczny i może być rozwiązany bez znajomości przyszłych stanów systemu. Jednak w praktyce dokładne informacje na temat wszystkich miejsc pracy pojazdu nie są zwykle znane na etapie projektowania planu. Zatem opracowanie harmonogramu zadań transportowych w takim trybie jest praktycznie niemożliwe. W tym przypadku stosuje się podejście tzw. harmonogramowanie dynamiczne, które polega na przydzielaniu zadań transportowych do środków transportu przy zastosowaniu różnych reguł priorytetów zadań i przypisywania do nich pojazdów.

Podczas budowy modelu systemu transportowego brany jest często jego sieciowy charakter. Sieci transportowe opisywane są najczęściej za pomocą grafów skierowanych [1],[2],[15]. Graf skierowany G można przedstawić jako dwójkę:

$$G(V, E) \quad (1)$$

składającą się z niepustego zbioru V węzłów, $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ oraz zbioru uporządkowanych par wierzchołków zwanych łukami $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ będącego podzbiorem zbioru $V, E \subseteq V \times V$. Pierwszy i drugi element uporządkowanej pary (v_i, v_j) nazywany jest odpowiednio początkiem i końcem łuku.

3. MODELE OPISUJĄCE ROZŁOŻENIE PRZEŁYWU ŁADUNKÓW W SIECI TRANSPORTOWEJ

W rozpatrywanym aspekcie modele stosowane są na etapie planowania przepływu ładunków i uwzględniają powiązania pomiędzy stroną popytową, a podażową systemu transportowego. Popyt na transport kształtowany jest na podstawie przestrzennego rozproszenia elementów podsystemu wywołującego potrzeby transportowe, a w efekcie przewozy ładunków. Spedytorzy, czyli niejako indywidualni użytkownicy systemu transportowego podejmują decyzje odnośnie sposobu przemieszczania:

- pierwsza decyzja: mająca charakter długoterminowy (np. środek transportu)
- druga decyzja: mająca charakter krótkoterminowy (np. moment rozpoczęcia przemieszczania, jego miejsce docelowe, wykorzystywany środek transportu oraz droga przemieszczania).

Konsekwencją wyborów dokonywanych przez spedytorów są zagregowane przepływy ładunków w sieci transportowej składające się z odpowiednio dobranych pojazdów przewożących różnego

rodzaju ładunki. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe sposoby modelowania popytu.

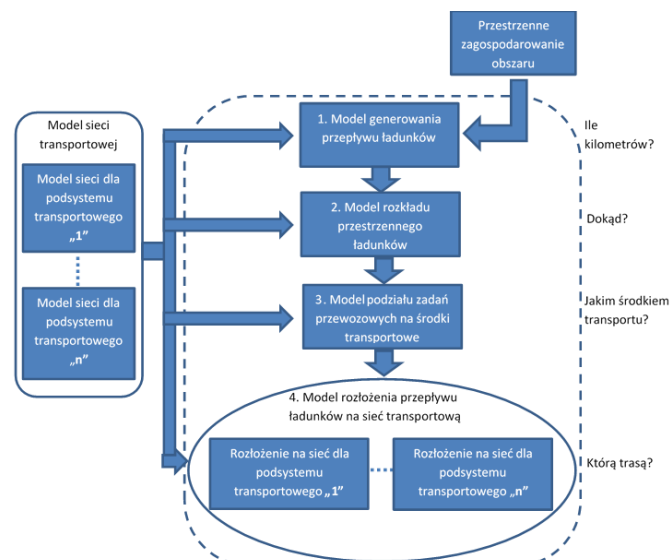
Tab. 1. Klasyfikacja modeli popytu [opracowanie własne]

Typ modelu	Najważniejsze założenia
Modele oparte na pojedynczych przewozach	Decyzje o sposobie realizacji każdego pojedynczego przewozu są podejmowane przez spedytorów systemu transportowego niezależnie od decyzji co do innych przewozów występujących w tym samym łańcuchu przewozów
Modele oparte na łańcuchach przewozów	Decyzje o sposobie realizacji przewozów należących do jednego łańcucha są zależne
Modele oparte na aktywności	Decyzje związane z realizacją przewozów zależą od potrzeb transportowych

Modele popytu transportowego, które są wykorzystywane w planowaniu przepływu ładunków składają się z kilku modeli cząstkowych, a dokładnie z czterech części, które są kolejnymi etapami przepływu ładunków w sieci transportowej. Modele cząstkowe to:

- model generowania przepływu ładunków,
- model rozkładu przestrzennego ładunków,
- model podziału zadań przewozowych na środki transportowe,
- model rozłożenia przepływu ładunków na sieć transportową.

Klasykne podejście zakłada, że pomimo pewnych sprzężeń zwrotnych, poszczególne modele cząstkowe realizowane są w sposób sekwencyjny. Oznacza to, że na każdym z etapów wykorzystuje się wyniki uzyskane w modelu poprzednim, co schematycznie zostało przedstawione na rysunku 2, potwierdzając formalizm sieci Petriego [4].



Rys. 2. Schematyczne ujęcie czterostopniowego modelu popytu [opracowanie własne]

Czterostopniowy model popytu zakłada, że spedytorzy we właściwy sposób podejmują decyzję o potrzebie, czasie, miejscu i sposobie przewozu ładunków. W tak postrzeganym ujęciu funkcja celu definiowana z punktu widzenia spedytora jest różnicą pomiędzy korzyściami, wynikającymi z połączenia dwóch działalności realizowanych w odrębnych lokalizacjach geograficznych, a kosztami realizacji samego przemieszczania np. koszt paliwa, czas realizacji zadania transportowego. Istotnym staje się zróżnicowanie tej funkcji z punktu widzenia poszczególnych grup spedytorów. Wówczas oznacza to, że każdy z nich wybiera określone miejsce docelowe, środek transportu, a także drogę, po której będzie odbywać się przewóz w taki sposób, aby różnica pomiędzy jego subiektywnymi korzyściami, a kosztami była maksymalna. Natomiast w ujęciu

transportowym trudno jest oceniać korzyści wynikające z realizacji przewozu ładunków dla poszczególnych spedytorów. Dlatego też są one pomijane, a funkcja celu wyrażana jest w postaci uogólnionego kosztu przewozu. Tak więc oznacza to, że każdy ze spedytorów dąży do minimalizacji kosztów związanych z realizacją zadania transportowego.

4. ANALIZA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO Z WYKORZYSTANIEM SIECI PETRIEGO

Zorganizowanie oraz niezawodne wsparcie logistyczne obejmuje funkcjonowanie wszystkich elementów niezbędnych do zapewnienia efektywnego oraz ekonomicznego wsparcia systemu transportowego na wszystkich poziomach obsługi. W tym przypadku efektywną metodą prowadzącą do uzyskania niezawodnego systemu transportowego jest skoncentrowanie się na dwóch podstawowych wymaganiach tj. gotowości i uwarunkowaniach ekonomicznych [13]. Jak wiadomo każdy system transportowy funkcjonujący w zmiennym otoczeniu może ulec nieprawidłowości w działaniu, co w konsekwencji może prowadzić do:

- zakłóceń realizacji zadań transportowych,
- niezdolności do podjęcia realizacji nowych zadań transportowych.

Zatem wysokie koszty stanowią motywację do poszukiwania nowych rozwiązań w celu:

- zapewnienia dostaw na czas,
- eliminacji problemów występujących w trakcie realizacji zadań transportowych,
- redukcji kosztów.

Co więcej podstawowym celem procesu obsługi jest zapewnienie możliwości ciągłej realizacji podstawowych funkcji systemu transportowego. Z tego wynika, iż procesy obsługi powinny zapewniać optymalny poziom funkcjonowania systemu będącego równowagą określonych kosztów strategii obsługi zleceń transportowych.

Nieustannie poszukuje się nowych i bardziej skutecznych metod modelowania procesów transportowych. Artykuł ten stanowi próbę wskazania sieci Petriego, jako narzędzie do modelowania procesów ruchowych, stanowiących podstawę funkcjonowania całego systemu transportowego. Na system transportowy składają się:

- elementy bierne – infrastruktura,
- elementy czynne – pojazdy realizujące zadania transportowe,
- organizacja – sposób odwzorowania relacji pomiędzy elementami systemu transportowego, zmierzającego do realizacji zadań transportowych.

W poruszanej kwestii zwrócono uwagę na elementy czynne systemu transportowego rozpatrywane dynamicznie podczas realizacji ich zadań, tj. procesy ruchowe. Infrastruktura i organizacja stanowią ograniczenia dla tego procesu i także muszą być rozpatrywane przy modelowaniu. Zakłada się przy tym, że celem modelowania jest analiza bezpieczeństwa procesu w krótkim horyzoncie czasowym. Proces ruchowy polega na uporządkowanym i służącym realizacji określonego celu przemieszczaniu pojazdów po drogach (odpowiednio zorganizowanych w poszczególnych gałęziach transportu), z uwzględnieniem zasad organizacyjnych oraz przepisów i norm służącym zapewnieniu bezpieczeństwa uczestnikom ruchu. W procesie tym występują przedziały czasu, w których pojazdy poruszają się w sposób planowy, ustalony. Te fragmenty procesu ruchu charakteryzuje czas ich trwania. Proces ten jest dynamiczny, gdyż następuje zmiana położenia pojazdów w czasie, jednak można go traktować jako statyczny, bowiem nie występują zdarzenia wpływające na poziom bezpieczeństwa, a procedury takie jak zmiana

prędkości, bądź kierunku jazdy są zaplanowane, zgodnie z ograniczeniami wynikającymi z charakterystyk elementów infrastruktury, a także dopasowane do charakterystyk eksploatacyjnych pojazdu [5], [6], [14].

Ujęcie procesu ruchu pozwala na wykorzystanie sieci Petriego do modelowania go. Ustalone sytuacje ruchowe odpowiadają miejscom w sieci, zaś zdarzenia ruchowe – tranzycjom. Znaczniki w miejscach sieci mogą być identyfikowane jako uczestnicy ruchu, bądź stany otoczenia. W tym przypadku uczestnicy ruchu mogą mieć różne charakterystyki, np. można rozpatrywać kilka typów pojazdów różniących się wielkością i osiąganymi. Podobnie jest w sytuacji ze stanami otoczenia, tj. zjawiskami zewnętrznymi. Zazwyczaj są to warunki o charakterze logicznym, a więc występowanie znaczników w miejscu sieci odpowiada zaistnieniu zdarzenia.

W prostych przypadkach do modelowania procesu ruchu można wykorzystać zwykłą sieć miejsc i tranzycji. Jest to możliwe, gdy fragmenty sieci wykorzystujące znaczniki różnych rodzajów są w znacznym stopniu rozłączne, w szczególności rozłączne są zbiory miejsc, a punktami łączącymi te fragmenty są tranzycje, których realizacja jest uzależniona od wyników znakowań tych fragmentów sieci. W odróżnieniu od typowych zastosowań sieci Petriego, w modelowaniu procesów ruchowych w transporcie w wielu przypadkach konieczne jest zastosowanie sieci czasowych. Wynika to z tego, że czas i związane z nim zjawiska dynamiczne są często najważniejsze przy analizie w tym obszarze. Wyróżnia się także pewną klasę zastosowań sieci Petriego do modelowania procesów ruchowych w transporcie, gdzie wystarczające jest wykorzystanie sieci nieczasowych. Jest to możliwe wówczas, gdy analizuje się jedynie ciąg zdarzeń prowadzących do badanej sytuacji, lub też ciąg zdarzeń będących konsekwencją pewnego zdarzenia inicjującego.

PODSUMOWANIE

W celu zwiększenia efektywności organizacji procesów transportowych spedytorzy podejmują określone działania w takiej skali, aby maksymalizować osiągnięte zyski. Weryfikacja podjętych decyzji następuje po pewnym czasie, tak więc to czy uzyskane efekty są zgodne z zamierzonymi zależy od umiejętności przewidywać co do zmieniającej się w czasie rzeczywistości. Ponadto przy rozdysponowaniu pojazdów do realizacji zadań transportowych należy brać pod uwagę konieczność elastycznego dostosowania do wymagań klientów. Spedytorzy podejmujący decyzje w zakresie odpowiedniego sterowania i zarządzania procesami przewozowymi powinni wyznaczać optymalne ścieżki transportu, odpowiednio opracować reguły przydzielania zleceń transportowych do dostępnych środków transportu. Wszystko to wymaga stosowania specyficznego aparatu decyzyjnego opartego na ocenianiu i wnioskowaniu, co wskazano w artykule.

W konkluzji należy podkreślić, iż transport stanowi ważny element systemów logistycznych. Niewłaściwe zarządzanie operacjami transportowymi przyczynia się do niskiego stopnia wykorzystania środków transportowych i wysokich kosztów transportu, jak również wydłużenia czasu realizacji zlecenia, co przekłada się na niepełne wykorzystanie zdolności przedsiębiorstwa przewozowego. Zatem bardzo ważne jest odpowiednie zaplanowanie systemu transportowego oraz realizacji operacji transportowych w taki sposób, aby umożliwić dostarczenie określonych ładunków we właściwym czasie i ilości do miejsca docelowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Arnold D., Furmans K.: Materialfluss in Logistiksystemen, VDI Buch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.

2. Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
3. Ambroziak T., Jacyna M.: Queueing theory approach to transport process dynamics. Part 1. Dynamics of transport network connections, Archives of Transport, 14(4), 2002.
4. Łukasik Z., Bril J., Efektywna obsługa transportowa- modelowanie systemów transportowych, Logistyka 3/2011
5. Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kołodziejczyk P., Analiza stanu bezpieczeństwa na polskich drogach, Autobusy. Technika Eksploatacja Systemy Transportowe, 10/2016.
6. Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Żurek-Mortka M., Możliwości wykorzystania czujników ruchu w transporcie, Autobusy. Technika Eksploatacja Systemy Transportowe, 12/2016.
7. Kuśmińska-Fijałkowska A., Łukasik Z., Information, Communication and Environment/ Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2015/7/22.
8. Łukasik Z., Olszańska S., Optymalizacja zarządzania flotą jako istotny element dyspozycji środkami transportu.
9. Kowalski M., Magott J., Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S., Analysis of transportation system with the use of Petri nets, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, nr 1, 2011.
10. Całczyński A. „Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku”, OWPW, Warszawa 2001.
11. Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
12. Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych, PWE, Warszawa 1994.
13. Zakrzewski B., Brdulak J., Zarys teoretyczny zmian systemu transportowego w Polsce, Transport samochodowy, 2008/1.
14. Krysiuk C., Brdulak J., Zakrzewski B., Bezpieczna infrastruktura w transporcie drogowym, Logistyka 4/2014.
15. Karkula M.: Modelowanie i symulacja procesów logistycznych, Wydawnictwo AGH, Kraków 2013.
16. Karoń G., Modelowanie popytu oparte na podróżach pojedynczych, Logistyka 2012 nr 4.
17. Ortuzar J., Willumsen L.G., Modelling transport, 3rd Edition, Wiley, New York 2009.
18. Żak J., Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz, Prace Naukowe, s. Transport, z.99, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
19. Rączka K, Kowalski M., Systemy wspomagające podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwie, Inżynieria Rolnicza, nr 6(94), 2007.
20. Szpyrka M.: Sieci Petriego w modelowaniu i analizie systemów współbieżnych, WNT, Warszawa 2008.
21. Piasecki St.: Optymalizacja systemów transportowych, Wydział Wydawniczy WAT, Warszawa 1971.
22. Pyza D.: Modelowanie procesów logistycznych w przedsiębiorstwach transportowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej serii Transport, zeszyt nr 63 (2007).

Modeling the operations of the transport system of the continuous reliability of transport measures

The considerations contained in the article concern the modeling of transport system activities aimed at optimally distributing the flow of cargo in the transport network, while increasing the efficiency of disposing of vehicles for transport purposes. The article presents the methods of designing the organization of the transport process and the analysis of the transport system using the Petri network.

Autorzy:

mgr inż. **Sylwia Olszańska** – doktorant, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-16, 361-77-07, Fax: + 48 48 361-77-42.

prof. dr hab. inż. **Zbigniew Łukasik** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-16, 361-77-07, Fax: + 48 48 361-77-42.