

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA PROCESÓW TRANSPORTOWYCH DO ORGANIZACJI KOLEJOWYCH PRZEWOZÓW ŁADUNKÓW

Streszczenie

W artykule została przedstawiona metoda, w której zastosowano modelowanie procesów transportowych do wybranych aspektów organizacji kolejowych przewozów ładunków. Stosując modelowanie uwzględniono warunki charakterystyczne dla gospodarki rynkowej. Wyprecyzowano, przesłanki jakie muszą być spełnione, aby popyt na przewozy ładunków, generowany przez nabywców usług transportowych, był zrealizowany przez przewoźników kolejowych, którzy oferują swoje usługi na rynku usług transportowych.

WSTĘP

Przewozy ładunków stanowią istotną część procesów transportowych. Występowanie przestrzennego zróżnicowania źródeł pozyskiwania surowców i materiałów, lokalizacji produkcji oraz miejsc konsumpcji dóbr, generują konieczność przemieszczania ładunków [23]. W warunkach gospodarki rynkowej zarówno dostawcy usług transportowych, jaki i nabywcy tych usług, mają do wyboru wiele możliwych wariantów zrealizowania oferty czy też zaspokojenia swoich potrzeb transportowych [1, 6, 8, 15].

Firmy transportowe są zainteresowane maksymalizacją zysku [29]. Otrzymaniem jak największej zapłaty za wykonaną usługę transportową, która powinna być zrealizowana po minimalnym koszcie. Inny jest punkt widzenia tych podmiotów, które chcą zlecić wykonanie przewozu ładunków [19]. W tym przypadku poszukiwany jest taki dostawca usługi transportowej, który zrealizuje przewóz ładunków w cenie akceptowanej przez zleceniodawcę usługi transportowej [21]. Innym punktem widzenia może być realizacja usług transportowych w sposób przyjazny środowisku (model EMITRANSYS) [1, 4, 6, 14, 15, 17, 18, 20].

W artykule przedstawiono metodę wykorzystującą narzędzia właściwe dla modelowania procesów transportowych do wybranych aspektów organizacji kolejowych przewozów ładunków. Zasygnalizowano, jakie warunki muszą być spełnione, aby popyt na kolejowe przewozy ładunków został zrealizowany na rozpatrywanym rynku usług transportowych.

1. MODEL ROZŁOŻENIA POTOKU RUCHU W SIECI TRANSPORTOWEJ

Przyjęto założenie, że strukturę sieci faz procesu transportowego [2, 3, 14, 16, 22, 26, 28] tworzy układ węzłów połączonych łukami.

Przyjęto, że $P_{ww'}$ jest zbiorem numerów łuków skierowanych z węzła o numerze w do węzła o numerze w' . Niech $P_{w'w}$ jest zbiorem numerów łuków skierowanych z węzła o numerze w' do węzła o numerze w , (rys. 1).

Zmienną p , z numerem p – tą drogą, łączącą węzeł o numerze w z węzłem o numerze w' oraz przyjmujemy, że $p \in P_{ww'}$, przy czym $w, w' \in W, w \neq w'$, gdzie $P_{ww'}$ jest zbiorem numerów wszystkich dróg łączących węzeł o numerze w z węzłem o numerze w' , tj.

$$P^{ww'} = P_{ww'} \cup P_{w'w} \quad (1)$$

Wprowadzone powyżej oznaczenia pozwalają na opis struktury sieci faz procesu transportowego za pomocą grafów Berge'a oraz odzorowanie tej struktury w konstruowanym modelu rozłożenia potoku ruchu w celu organizacji kolejowych przewozów ładunków.

Powyższe jest szczególnie istotne przy definiowaniu pojęć, zapisie ograniczeń i kryteriów rozłożenia potoku ruchu w sieci faz procesu transportowego [8, 10, 16, 22].

Przyjęto, że zadana będzie sieć faz procesu transportowego S rozumiana, jako uporządkowana para (G, F) , co zapisano:

$$S = (G, F) \quad (2)$$

gdzie:

- $G = (W, L)$ – jest grafem struktury sieci faz procesu transportowego;
- W – jest zbiorem numerów węzłów sieci faz procesu transportowego;
- L – jest zbiorem łuków łączących poszczególne węzły sieci faz procesu transportowego.

Ponadto:

- F – jest zbiorem funkcji określonych na węzłach i łukach grafu struktury sieci faz procesu transportowego.

Przyjmujemy, że F jest zbiorem postaci:

$$F = (F_1, F_2) \quad (3)$$

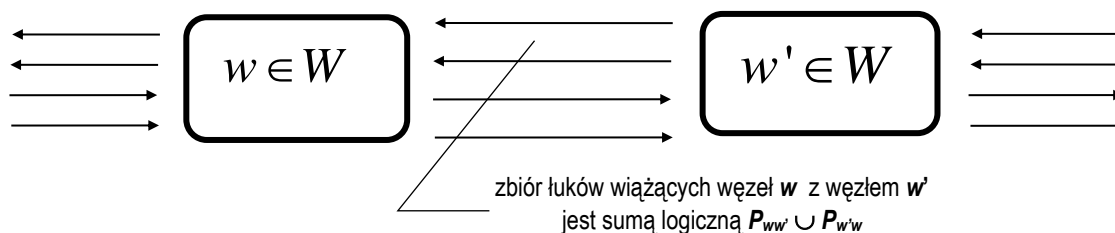
przy czym F_1 jest zbiorem funkcji określonych na wierzchołkach grafu, natomiast F_2 jest zbiorem funkcji określonych na łukach grafu.

Założono zatem, że na wierzchołkach grafu określone są funkcje

f_k^1 , postaci:

$$f_k^1 : W \longrightarrow R^+ \quad (4)$$

gdzie:



Rys. 1. Schemat połączeń węzłów sieci faz procesu transportowego

- R^+ jest zbiorem liczb rzeczywistych nieujemnych, natomiast
- $f_k^1(w)$, $k = 1, 2, \dots, K$ jest k -tą funkcją określoną na w – tym węźle, o ustalonej interpretacji wartości tej funkcji, np.: kosztów eksploatacji taboru kolejowego, kosztów zatrudnienia personelu potrzebnego realizacji zadań przewozowych, kosztów dostępu do infrastruktury kolejowej, itp.

W takim razie zbiór F_1 funkcji określonych na wierzchołkach grafu przybiera postać:

$$F_1 = \{f_k^1(w) : w \in W, k = 1, 2, \dots, K\} \quad (5)$$

Założono, że na łukach grafu określone są funkcje f_2 , postaci:

$$f_2 : W \times W \longrightarrow R^+ \quad (6)$$

gdzie:

- R^+ jest zbiorem liczb rzeczywistych nieujemnych, natomiast
 - $f_2(w, w')$, jest funkcją określoną na łuku łączącym węzeł w z węzłem w' , o ustalonej interpretacji wartości tej funkcji.
- Zbiór F_2 funkcji określonych na łukach grafu przybiera postać:

$$F_2 = \{f_2(w, w') : (w, w') \in W \times W\} \quad (7)$$

Funkcję wprowadzoną powyżej, można zilustrować i zinterpretować, jak na rys. 2.

Zapotrzebowanie na transport (znt) definiowane jest przy pomocy pojęcia relacji przewozu. Relacja przewozu jest parą symboli. Pierwszy symbol identyfikuje punkt początku przewozu ładunku, jest to wierzchołek o numerze a . Drugi symbol oznacza punkt zakończenia przewozu ładunku, jest to wierzchołek o numerze b . Ze względu na cel modelowania, którym jest organizacja kolejowych przewozów ładunków, należy punkty te powiązać z numerami odcinków linii kolejowych, wchodzących do węzłów i wychodzących z węzłów badanej sieci transportowej.

Przyjęto, że numery źródeł potoku ruchu tworzą zbiór numerów źródeł potoku ruchu, który oznaczymy przez A . Natomiast numery ujść potoku ruchu tworzą zbiór numerów ujść potoku ruchu, który oznaczono przez B .

Zapotrzebowanie na transport (znt) jest w przedstawianym modelu parametrem, którego wartość określana jest przez nabywców usług transportowych. Zapotrzebowanie na transport wyrażone jest w układzie relacji przewozu ładunków.

Relacja przewozu jest parą (a, b) taką, że jej pierwszy element $a \in A$, a drugi element $b \in B$. Formalnie $(a, b) \in A \times B$, jednak każdemu $a \in A$ odpowiada jedno $b \in B$. Dlatego można posługiwać się zbiorem numerów relacji przewozu w postaci (a, b) :

$$(a, b) \in E, \quad E \subset A \times B \quad (8)$$

Szczególnym przypadkiem jest wielowymiarowy potok ruchu. Wtedy każdą składową potoku ruchu, można traktować jak osobną

relację przewozu, której potok ruchu, wspólnie z potokiem ruchu innych relacji, obciąża linie kolejowe (bądź wybrane odcinki tych linii).

W takim przypadku wygodnym zapisem danych o znt jest macierz M^{ab} , której elementy mogą mieć ustaloną wartość, w przypadku sztywnego popytu na kolejowe przewozy ładunków, być zmienną losową o rozkładzie popytu, a także funkcją, określającą wielkość popytu albo funkcją wyznaczającą popyt o parametrach zadanych zmiennymi losowymi.

Kolejowy przewóz ładunków, wykonywany przez dostawców usług transportowych, między a – tym źródłem oraz b – tym ujściem potoku ruchu, jest opisany za pomocą uporządkowanej pary (a, b) taka, że $a \in A, b \in B$, która definiuje relację przewozu.

Jak wynika z powyższych rozważań, relacja przewozu opisuje związek między parą węzłów (a, b) , z których pierwszy jest punktem początku przewozu (źródłem potoku ruchu), drugi punktem końca przewozu (ujściem potoku ruchu). Relacja przewozu nie definiuje drogi przewozu.

Oznaczono przez x^{ab} wielkość zapotrzebowania na transport (znt) w relacji przewozu (a, b) .

Na poziomie wymiany na rynku usług transportowych zadana jest sieć faz procesu transportowego, której węzłami są podmioty realizujące poszczególne fazy procesu transportowego. Natomiast łuki skierowane, łączące poszczególne węzły sieci faz procesu transportowego, wyznaczają dopuszczalne przejścia pomiędzy węzłami.

Przedmiotem analizy jest zatem taka klasa sieci faz procesu transportowego, której struktura odwzorowana jest za pomocą grafu. Jak wiadomo dla celów modelowania konieczne jest, aby do opisu struktury faz procesu transportowego, wykorzystać graf, postaci:

$$G = (W, L) \quad (9)$$

dla której:

- W - jest zbiorem numerów wierzchołków grafu G ;
- L - jest relacją określoną na iloczynie kartezjańskim $W \times W$, tj.

$$L \subset W \times W \quad (10)$$

W interpretacji problematyki rozważanego problemu, którym jest rozłożenie potoku ruchu w celu organizacji kolejowych przewozów ładunków, każdy wierzchołek grafu G reprezentuje podmiot funkcjonujący w sieci faz procesu transportowego. Natomiast każdy łuk grafu odpowiada przejściu, łączącemu dwie fazy procesu transportowego.

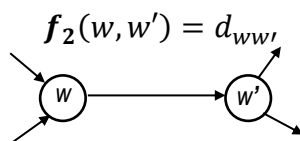
Dla jednoznaczności rozważań przyjęto, że:

- W - jest zbiorem numerów (węzłów) faz procesu transportowego, tj.:

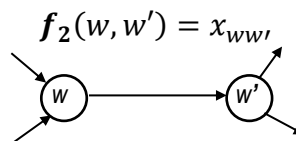
$$W = \{1, \dots, w, \dots, \overline{W}\} \quad (11)$$

- L - jest zbiorem łuków obrazujących przejścia pomiędzy fazami procesu transportowego (węzłami), a więc

$$L = \{(w, w') : w \neq w', w, w' \in W\} \quad (12)$$



lub



gdzie:

- $d_{ww'}$ – ma interpretację przepustowości łuku (w, w') ,
- $x_{ww'}$ – ma interpretację natężenia ruchu na łuku (w, w')

Rys. 2. Interpretacja fizyczna funkcji określonej na łukach grafu struktury sieci transportowej

W takim razie, graf opisujący strukturę faz procesu transportowego jest grafem postaci:

$$G = (W, L) \quad (13)$$

Powiązania między węzłami sieci faz procesu transportowego dla potrzeb tego modelu, zidentyfikowano w postaci drogi wychodzącej z węzła sieci faz procesu transportowego (źródło zapotrzebowania na transport) i wchodzącej do węzła sieci faz procesu transportowego (ujście zapotrzebowania na transport). Pojęcie drogi wykorzystano dla ilustracji powiązań także z innymi węzłami, nie koniecznie z węzłami sieci faz procesu transportowego.

W modelu rozłożenia potoku ruchu, którego wynikiem jest organizacja kolejowych przewozów ładunków, struktura i charakterystyki liczbowe poszczególnych węzłów sieci faz procesu transportowego, zadane są z dokładnością zależną od celu, dla którego tworzony jest model.

2. CHARAKTERYSTYKI ELEMENTÓW STRUKTURY SIECI FAZ PROCESU TRANSPORTOWEGO

Model rozłożenia potoku ruchu [4, 9, 13, 17, 18, 20, 25] w celu organizacji kolejowych przewozów ładunków [5, 7, 10] konstruowany jest przy założeniu, że obowiązują dwie, podstawowe zasady analizy mikroekonomicznej, w formie dostosowanej do rynku usług transportowych.

Pierwsza – **zasada optymalności** [8,21,22] – odniesiona do nabywców i dostawców usług, działających na rynku usług transportowych, oznacza, że nabywcy usług transportowych starają się wybrać najlepszy, na jaki mogą sobie pozwolić, model (strukturę i wielkość) popytu na kolejowe usługi transportowe.

Wybrana w ten sposób struktura i wielkość popytu jest optymalna w sensie kryterium maksymalnej korzyści nabywców kolejowych usług transportowych. Oznacza to, że nabywcy wybierają, przy swoich ograniczeniach budżetowych, najlepszą, na jaką mogą sobie pozwolić, strukturę i wielkość popytu na usługi transportowe.

Natomiast dostawcy kolejowych usług transportowych starają się wybrać najlepszy, na jaki mogą sobie pozwolić, model (strukturę i wielkość) podaży usług transportowych. Tak wybrana struktura i wielkość podaży jest optymalna w sensie kryterium maksymalnego zysku dostawców. Oznacza to, że dostawcy kolejowych usług transportowych wybierają, przy swoich ograniczeniach technicznych i technologicznych (budżetowych) najlepszą, na jaką mogą sobie pozwolić, strukturę i wielkość podaży usług transportowych.

Druga – **zasada równowagi** [8,21,22] – odniesiona do zachowania nabywców i dostawców usług transportowych na rynku kolejowych usług przewozowych i ich wzajemnego oddziaływania, poprzez ceny usług transportowych, oznacza, że ceny dostosowują się do popytu, dopóki ilości usług transportowych, na które nabywcy zgłaszają

popyt, nie zrównają się z ilościami usług transportowych oferowanymi przez dostawców, jako podaż.

Cenę, dla której popyt na usługi transportowe równy jest podaży usług transportowych nazywamy ceną równowagi usług transportowych.

Rynek, na którym każdy podmiot rynkowy przyjmuje cenę rynkową, jako zmienną będącą poza jego kontrolą, nazywamy rynkiem konkurencyjnym.

Przyjęcie zasady optymalności i zasady równowagi, w odniesieniu do rynku usług transportowych, przy dodatkowym założeniu, że podmioty tego rynku działają niezależnie (nie tworzą koalicji), definiuje rynek usług transportowych, jako rynek konkurencyjny.

Zasady określają również analityczną postać funkcji, opisujących popyt i podaż usług transportowych, przy różnych cenach usług, jako zmiennej niezależnej. Dodatkowo przyjęto założenie, że funkcje te, dla dodatnich wartości ich dziedziny, są ciągłe i monotoniczne.

Przyjęto, że $D(p)$ jest funkcją opisującą popyt na usługi transportowe, tzn., $D(p)$ jest funkcją popytu. Natomiast $S(p)$ jest funkcją opisującą podaż usług transportowych, tzn., $S(p)$ jest funkcją podaży, gdzie p jest ceną rynkową jednostkowych usług w zakresie kolejowego przewozu ładunków. Cena p^* , która jest wyznaczona na podstawie poniższej równości:

$$p^* = D(p^*) = S(p^*) \quad (14)$$

jest ceną równowagi.

Ilustrację graficzną punktu równowagi na rynku usług transportowych, przedstawiono na wykresach, zamieszczonych na rys. 3.

Na podstawie funkcji popytu $D(p)$ oraz funkcji podaży $S(p)$ dokonuje się optymalnego wyboru maksymalnej korzyści, uzyskanej przez nabywców i dostawców kolejowych usług transportowych, przy różnych cenach za te usługi.

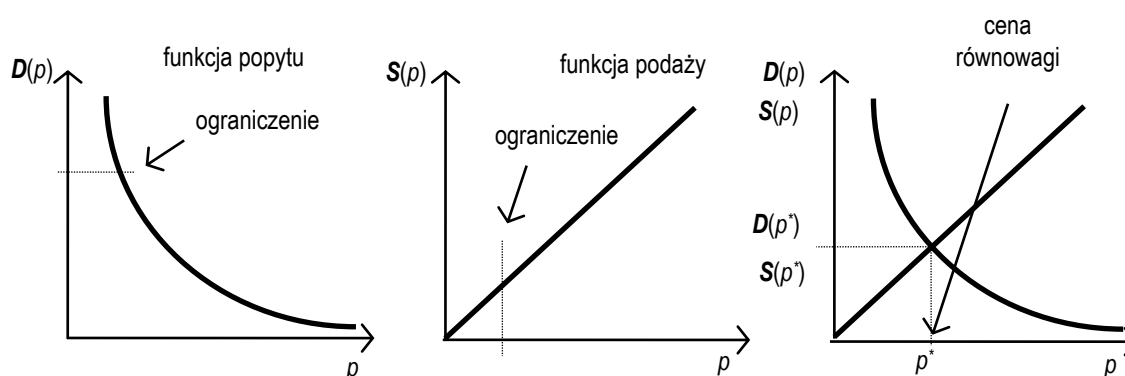
Punkt równowagi określa optymalną wielkość sprzedaży kolejowych usług transportowych, ponieważ przy wielkości usług $D(p^*) = S(p^*)$ cena, którą jest skłonny zapłacić nabywca za wykonanie dodatkowej (jednostki) usługi, jest równa cenie, którą musi otrzymać dostawca, aby być skłonny do sprzedaży dodatkowej (jednostki) usługi.

3. ZADANIE OPTIMALIZACYJNE

Przyjęto, że modelem organizacji kolejowych przewozów ładunków jest rozłożenie potoku ruchu [11, 12, 27, 30] w sieci faz procesu transportowego przy zapotrzebowaniu na transport (znt), określonym przez nabywców usług transportowych.

Graficznie rozłożenie potoku ruchu w sieci faz procesu transportowego przedstawić, jak na rys. 4.

W celu uzyskania zamierzonego efektu, którym jest organizacja kolejowych przewozów ładunków, należy rozłożyć potok ruchu w



Rys. 3. Ilustracja graficzna punktu równowagi rynku usług transportowych

sieci faz procesu transportowego, uwzględniając ustalone kryterium. Na ogół problem ten rozwiązuje organizator przewozów, np. firma spedycyjna.

Problem rozłożenia potoku ruchu w sieci faz procesu transportowego formułujemy w postaci zadania optymalizacyjnego, którego zapis ogólny jest następujący [8, 22, 24]:

Dla danych:

- grafu sieci faz procesu transportowego $\langle W, L \rangle$,
- funkcji określonych na wierzchołkach i łukach grafu F_1, F_2 ,
- zapotrzebowania na transport $[x^{ab}]$

wyznaczyć:

- rozłożenie potoku ruchu w sieci faz procesu transportowego $[x_{ww'}]$ spełniające:

(1°) warunki realizacji $[x^{ab}]$,

(2°) ograniczenia nałożone na sieć faz procesu transportowego, wynikające z zadanych funkcji F_1, F_2 ,

(3°) warunki nałożone na sieć faz procesu transportowego, wynikające z rozłożenia w tej sieci potoku ruchu:

- **NP** - nieujemności:

$$\forall (w, w') \in L \quad x_{ww'} \geq 0 \quad (15)$$

ponadto

$$\forall (a, b) \in E \quad \forall p \in P^{ab} \quad x^{pab} \geq 0 \quad (16)$$

oraz

$$\forall (a, b) \in E \quad \forall p \in P^{ab} \quad \forall (w, w') \in L \quad x_{ww'}^{pab} \geq 0 \quad (17)$$

- **AP** – addytywności:

$$\forall (w, w') \in L \quad \sum_{(a,b) \in E} \sum_{p \in P^{ab}} x_{ww'}^{pab} = x_{ww'} \quad (18)$$

oraz

$$\forall (a, b) \in E \quad \sum_{p \in P^{ab}} x^{pab} = x^{ab} \quad (19)$$

- **ZP** – zachowania potoku:

$$\forall w \in W \quad \left(\sum_{w' \in \Gamma_w^{-1}} x_{ww'} - \sum_{w'' \in \Gamma_w} x_{w''w} \right) = \begin{cases} -x^{ab} & \text{dla } w \in A \\ 0 & \text{dla } w \in V \\ x^{ab} & \text{dla } w \in B \end{cases} \quad (20)$$

gdzie:

Γ - odwzorowanie zadane na zbiorze wierzchołków grafu Berge'a,

Γ^{-1} - odwzorowanie odwrotne do odwzorowania Γ .

Problem organizacji kolejowych przewozów ładunków odbywa się przy zadanym kryterium. Na ogół jest to taka funkcja kryterium,

której opisuje minimum strat lub, co jest temu równoważne, maksimum zysku z tytułu realizacji przewozów ładunków. Wtedy wynikiem wyznaczenia $[x_{ww}]$ z uwzględnieniem przyjętego w modelu kryterium, jest rozwiązanie optymalne. Do poszukiwania rozwiązań wykorzystuje się różne metody, algorytmy i narzędzia [8, 9, 12, 15, 19, 27].

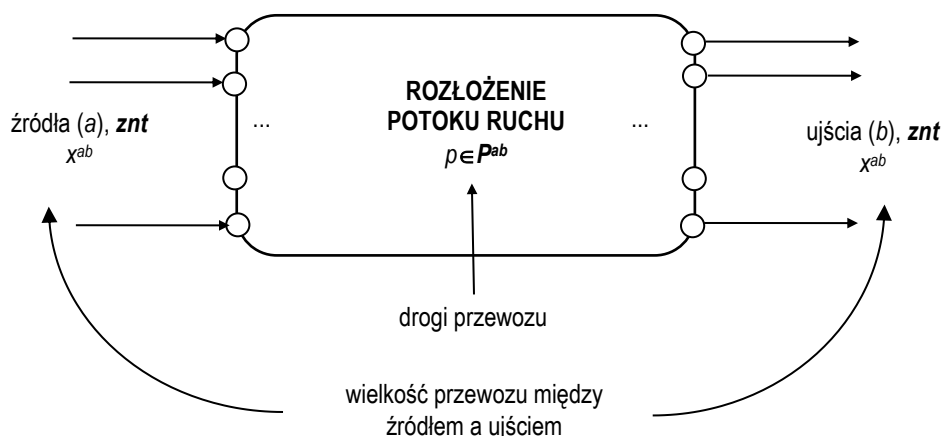
PODSUMOWANIE

W artykule przedłożono formalny język opisu decyzyjnych sytuacji transportowych przy organizacji kolejowego przewozu ładunków. Przedłożono także język umożliwiający formułowanie adekwatnych do sytuacji decyzyjnych zadań optymalizacyjnych.

W kolejnych artykułach przedstawione będą algorytmy rozwiązań zadań optymalizacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Ambroziak T., Jachimowski R., Pyza D., Szczepański E., *Analysis of the traffic stream distribution in terms of identification of areas with the highest exhaust pollution*. Archives of Transport, 2014, Vol. 32, Iss. 4, str. 7-16.
2. Ambroziak T., Jacyna M., *Queueing theory approach to transport process dynamics, Part 1. Dynamics of transport network connections*. Archives of Transport, 2002, Vol. 14, Iss. 4, str. 5-20.
3. Ambroziak T., Jacyna M., *Queueing theory approach to transport process dynamics, Part 2. Parameters of the transport process dynamics*. Archives of Transport, 2003, Vol. 15, Iss. 1, str. 5-21.
4. Ambroziak T., Jacyna M., Gołębiowski P., Wasiak M., Żak J., *Wpływ rozłożenia potoku ruchu w sieci transportowej na poziom emisji CO₂ przez środki transportu*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, 2013, z. 97, str. 9-18.
5. Gołębiowski P., *Mathematical Model of Shaping the Railway Transportation Offer*, [w:] CLC 2013: Carpathian Logistics Congress – Congress Proceedings (reviewed version) [CD-ROM]. Edition 1st. Ostrava: Tanger Ltd., 2014, pp. 397-402.
6. Gołębiowski P., Jacyna-Golda I., Merksiz-Guranowska A., Żak J.: *Study on the impact of traffic flow distribution on the level of harmful compounds emission for chosen part of rail-road network*, [w:] Jacyna M., Wasiak M. (red.), *Simulation model to support designing a sustainable national transport system*. Index Copernicus International, Warszawa 2014, str. 143-154.
7. Gołębiowski P., Żebrak D., *Organization of the train movement on the selected line with the application "eRJet"*, [w:] CLC 2012: Carpathian Logistics Congress – Congress Proceedings (reviewed version) [CD-ROM]. Edition 1st. Ostrava: Tanger Ltd., 2012, pp. 461 – 467.



Rys. 4. Graficzne przedstawienie rozłożenia potoku ruchu w sieci faz procesu transportowego

8. Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
9. Jacyna M., *Some aspects of multicriteria evaluation of traffic flow distribution in a multimodal transport corridor*. Archives of Transport, 1998, Vol. 10, Iss. 1-2, str. 37-52.
10. Jacyna M., *The Structure and characteristics of the elements of a multimodal transport corridor in respect to traffic distribution modelling*. Archives of Transport, 1997, Vol. 9, Iss. 1-2, str. 5-18.
11. Jacyna, M., Gołębiowski, P., *Konstrukcja wykresu ruchu pociągów z zastosowaniem wieloetapowej optymalizacji*. Pojazdy Szynowe, 2014, nr 2, str. 1-14.
12. Jacyna, M., Gołębiowski, P., *Traffic Organization on the Railway Network and Problem of Construction of Graphic Train Timetable*. Journal of KONES Powertrain and Transport, 2015, vol. 22, no. 2, str. 79-87.
13. Jacyna, M., Gołębiowski, P., Szczepański E., *City Transport Service Model Taking into Account Different Means of Transport*, [w:] Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means. Kaunas, Lithuania: Publishing House "Technologija", 2015, str. 160 – 168.
14. Jacyna M., Merkiż J., *Proecological approach to modelling traffic organization in national transport system*. Archives of Transport, 2014, Vol. 30, Iss. 2, str. 31-41.
15. Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Kłodawski M., *Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport*. Archives of Transport, 2014, Vol. 31, Iss. 3, str. 23-35.
16. Jacyna, M., Żak, J., Gołębiowski, P.: *Realizacja procesów w transporcie kolejowym z wykorzystaniem teorii kolejkowej*. TTS Technika Transportu Szynowego, 2015, nr 12, str. 664-670.
17. Jacyna-Golda I., Gołębiowski, P., Jachimowski, R., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Szczepański, E., Sivets, O., Merkiż-Guranowska, A., Pielecha, J., *Traffic distribution into transport network for defined scenarios of transport system development in aspect of environmental protection*. Journal of KONES Powertrain and Transport, 2014, vol. 21, no. 4, str. 183-192.
18. Jacyna-Golda I., Lewczuk K., Szczepański E., Gołębiowski P., *Rozłożenie ruchu w sieci transportowej z zastosowaniem modelu EMITRANSYS w aspekcie planowania rozwoju systemu transportowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa – Poznań 2014.
19. Jacyna-Golda I., Lewczuk K., Szczepański E., Murawski J., *Computer Aided Implementation of Logistics Processes – Selected Aspects*, [w:] Mikulski J. (red.), *Tools of Transport Telematics*. Springer, 2015, str. 1-14.
20. Jacyna-Golda I., Żak J., Gołębiowski P., *Models of traffic flow distribution for various scenerio of the development of proecological transport system*. Archives of Transport, 2014, Vol. 32, Iss. 4, str. 17 – 28.
21. Krześniak M., Poznański J., Żebrak D., *Wykorzystanie rozłożenia potoku ruchu do wybranych elementów organizacji kolejowych przewozów towarowych*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, 2015, z. 107, str. 55-68.
22. Leszczyński J., *Modelowanie systemów i procesów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
23. Nowosielski L., *Organizacja przewozów kolejowych*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1999.
24. Ortuzar J., Willumsen L.G., *Modelling transport*, John Wiley & Sons Ltd, Santiago, 2011.
25. Palagin Y., Mochalov A., Timonin A., *Mathematical modelling and parameters calculations in multimodal freight terminal networks*. Archives of Transport, 2014, Vol. 30, Iss. 2, str. 77-87.
26. Wasiak M., *A queuing theory approach to logistics systems modelling*. Archives of Transport, 2007, Vol. 19, Iss. 1-2, str. 103-120.
27. Zieja M., Smoliński H., Golda P., *Information systems as a tool for supporting the management of aircraft flight safety*, Archives of Transport, 2015, Vol. 36, Iss. 4, str. 67-76.
28. Żak J., Jacyna-Golda I., *Using queue theory to analysis and evaluation of the logistics centre workload*, Archives of Transport, 2013, Vol. 25, Iss.1-2, str. 117-135.
29. Żak J., Jacyna-Golda I., Wasiak M., *Effectiveness evaluation criteria of the functioning of the national transport system and its impact on environment*, [w] Jacyna M., Wasiak M. (red.), *Simulation model to support designing a sustainable national transport system*. Index Copernicus International, Warszawa 2014, str. 35-47.
30. Żochowska R., *Selected issues in modelling of traffic flows in congested urban networks*. Archives of Transport, 2014, Vol. 29, Iss. 1, str. 77-89.

THE USE OF MODELLING OF PROCESSES OF TRANSPORT'S TO ORGANIZATION OF RAIL FREIGHT

Abstract

The article presents the method, which uses modelling of transport processes to selected aspects of the organization of rail freight. Using of modelling takes into account the conditions specific to the market economy. Specified, the conditions which must be satisfied that the demand for cargo generated by the buyers of transport services, was carried out by the railway operators who offer their services on the transport market.

Autorzy:

dr inż. **Jarosław Poznański** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych, e-mail: jpz@wt.pw.edu.pl

dr inż. **Danuta Żebrak** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych