

Vitalii Naumov, Andrzej Szarata

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

MODELOWANIE POPYTU NA USŁUGI SPEDYCYJNE NA PODSTAWIE DANYCH PORTALI LOGISTYCZNYCH

Rękopis dostarczono: maj 2017

Streszczenie: Model popytu jest podstawowym elementem każdego systemu wspomaganie podejmowania decyzji w dziedzinie transportu i logistyki. Adekwatność stosowanego modelu popytu oraz danych wykorzystanych przy jego opracowaniu jest konieczna do osiągnięcia wiarygodnych wyników symulacji systemów logistycznych. Współczesne przedsiębiorstwa spedycyjne nazywane są architektami łańcuchów logistycznych ponieważ pełnią one rolę organizatorów interakcji pomiędzy podmiotami rynku usług transportowych. Z tego powodu decyzje podejmowane przez spedytorów wpływają na efektywność każdego ogniwa w łańcuchu logistycznym, czyli muszą być uzasadniane w oparciu o adekwatne modele popytu. Modelowanie popytu na usługi spedycyjne jest zagadnieniem szczególnie złożonym ze względu na dużą liczbę czynników stochastycznych kształtujących popyt oraz ograniczony dostęp do źródeł aktualnej informacji o jego parametrach. W referacie zostało zaproponowane podejście do oszacowania parametrów popytu na usługi spedycyjne na podstawie danych uzyskiwanych na internetowych portalach logistycznych (tzw. giełdach transportowych). W oparciu o oszacowane parametry opracowano model popytu na usługi spedycyjne oraz przedstawiono jego implementację programową. Symulacje popytu przeprowadzone za pomocą opracowanego oprogramowania pozwalają stwierdzić wysoką zbieżność parametrów popytu uzyskanych na podstawie modelu oraz odpowiednich empirycznych wartości tych parametrów.

Słowa kluczowe: usługi spedycyjne, model popytu, portal logistyczny

1. WSTĘP

Rozwój technologii informatycznych w ciągu ostatnich 15-20 lat spowodował wysoki poziom informatyzacji oraz wirtualizacji procesów technologicznych na współczesnych rynkach usług transportowych. Doprowadziło to do zmiany roli spedytorów jako przedsiębiorstw świadczących usługi pośredniczące. Współcześni spedytorzy są architektami łańcuchów dostaw którzy zapewniają najbardziej efektywny sposób interakcji pomiędzy podmiotami rynku transportowego. Dlatego efektywność procesów technologicznych obsługi spedycyjnej jest obecnie jednym z kluczowych czynników decydujących o efektywności całych systemów transportu towarowego [8].

Ocena parametrów popytu na produkcję przedsiębiorstw (lub świadczone przez nie usługi) jest niezbędnym etapem, który zwykle jest realizowany przed podjęciem decyzji o poprawie jakości produkcji (lub obsługi klientów) i o poprawie efektywności procesów technologicznych, a także o poprawie konkurencyjności firmy.

Niewłaściwe informacje o parametrach popytu często powodują błędne wnioski oraz rekomendacje. Dlatego problem skonstruowania adekwatnego modelu popytu jest szczególnie istotny przy rozwiązywaniu naukowych oraz praktycznych zagadnień w dziedzinie transportu i spedycji, ponieważ wyniki modelowania popytu są istotnym elementem w procesie tworzenia modelu do podejmowania decyzji.

Analiza literatury naukowej [1–4, 7, 10, 11] pozwala wnioskować, że zadanie oceny popytu na przewozy towarowe zwykle jest rozpatrywane jako zadanie oceny numerycznej pojedynczego parametru wykorzystywanego przy scharakteryzowaniu popytu. W większości istniejących podejść, ocena parametrów popytu polega na ustaleniu ich wartości prognozowanych [2, 4, 7]. We wstępnych badaniach istnieje potrzeba wyznaczenia parametrów popytu, które są zmiennymi losowymi, a których z reguły się nie uwzględnia. Zazwyczaj wartość prognozowana parametru określana jest na podstawie danych statystycznych dla poprzednich okresów czasu, co znacznie utrudnia zbadanie procesów kształtowania samego popytu. Takie podejście powoduje nieprawidłowe wyniki oceny popytu na usługi spedycyjne.

W artykule, przez badanie parametrów popytu na usługi spedycyjne, rozumie się badanie charakterystyk numerycznych popytu jako zmiennych losowych. Parametry te są wykorzystywane jako dane wejściowe przy rozwiązywaniu szeregu problemów w dziedzinie poprawy efektywności obsługi spedycyjnej.

2. MODEL POPYTU NA USŁUGI SPEDYCYJNE

Podejściem do modelowania popytu na przewozy ładunków, które pozwala uwzględnić stochastyczny charakter popytu, jest model potoku zamówień generujący odpowiednie przepływy materiałowe, informacyjne oraz finansowe w makrologistycznym systemie rynku transportowego [4, 6]. Takie rozumienie pojęć odpowiada faktycznym stosowanym zasadom interakcji pomiędzy podmiotami rynku: obsługę właścicieli towarów oraz przewoźników zapewniają spedycje za pośrednictwem informacyjnych logistycznych portali. Na współczesnych rynkach spedycji w transporcie drogowym zaspokajanie potrzeb właścicieli ładunków w dostawie towarów oraz potrzeb przewoźników w załadunku pojazdów w większości przypadków odbywa się za pośrednictwem firm spedycyjnych jako operatorów obsługujących potok informacji o potrzebach klientów.

2.1. MODEL MATEMATYCZNY POPYTU

Zgodnie z [6], jednostką podstawową kształtującą popyt jest zamówienie na usługi transportowe – rozumiana jako potrzeba klienta w usługach poparta zdolnością nabywczą oraz przedstawiona na rynku w celu jej zaspokojenia. Zamówienie usługi stanowi podstawę i jest przyczyną interakcji pomiędzy podmiotami rynku przewozów towarowych. Zbiór aktualnych oraz potencjalnych zamówień na usługi firmy kształtuje popyt na usługi przedsiębiorstwa; odpowiednio, zbiór zamówień na usługi wszystkich przedsiębiorstw w regionie reprezentuje popyt na usługi transportu towarów w regionie, itp. Każde zamówienie może być ilościowo opisane na podstawie zestawu parametrów, wśród których najbardziej znaczącymi są wielkość partii ładunku, odległość dostawy oraz interwał czasu pomiędzy zamówieniami. Ponieważ zbiór uporządkowanych w czasie zamówień na usługi firmy charakteryzuje popyt, zagadnienie oceny popytu może być określone jako problem oszacowania numerycznych parametrów potoku zamówień. Informacje o potoku zamówień dla pojedynczej firmy spedycyjnej można uzyskać na podstawie danych o zrealizowanych zamówieniach, natomiast dla całego rynku przewozów towarowych – na podstawie danych informacyjnych portali logistycznych [9].

W postaci ogólnej model popytu można przedstawić jako uporządkowany zbiór \mathbf{D} :

$$\mathbf{D} = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}, \quad (1)$$

gdzie:

r_i – i -te zamówienie w potoku: $r_i < r_{i+1}$ jeżeli $t_i \leq t_{i+1}$, t_i – moment pojawienia się i -tego zamówienia w systemie;

N – liczba zamówień w potoku.

Pojedyncze zamówienia charakteryzuje się na podstawie następujących parametrów:

$$r = \{\zeta, \omega, \tau, \theta\}, \quad (2)$$

gdzie:

ζ – czas pomiędzy momentem pojawienia się w systemie danego oraz poprzedniego zamówienia, min.;

ω – wielkość partii ładunku, ton;

τ – czas pomiędzy momentem w którym partia ładunku ma być dostarczona oraz momentem pojawienia się zamówienia w systemie (akceptowalny czas oczekiwania), dni;

θ – typ pojazdu niezbędnego do realizacji zamówienia (skrzynia, furgon, wywrotka, pojemnik, itp.).

Należy zauważyć że dla pojedynczego zamówienia wymienione parametry są charakterystykami deterministycznymi, jednak dla potoku zamówień, numeryczne parametry (ζ , ω oraz θ) są zmiennymi losowymi, a możliwe wartości zmiennej θ charakteryzują się odpowiednimi prawdopodobieństwami.

Lokalizację geograficzną nadawców oraz odbiorców proponuje się charakteryzować na podstawie zbioru dwuwymiarowego \mathbf{L} , w którym wiersze charakteryzują regiony nadawców towarów, a kolumny – regiony odbiorców. Elementami zbioru \mathbf{L} są zbiory zamówień \mathbf{r}_{ij} , dla których nadawca znajduje się w i -tym regionie, a odbiorca – w j -tym regionie (i oraz j – numer wiersza oraz kolumny odpowiednio). Dla potoku zamówień ze skończoną liczbą elementów zbioru \mathbf{L} można zastąpić charakterystyką numeryczną – macierzą podróży Δ , elementy której δ_{ij} odzwierciedlają stosunek liczby zamówień w zbiorze \mathbf{r}_{ij} i ogólnej liczby zamówień w potoku:

$$\delta_{ij} = \frac{\eta(\mathbf{r}_{ij})}{N}, \quad (3)$$

gdzie:

$\eta(\mathbf{r}_{ij})$ – liczba elementów zbioru \mathbf{r}_{ij} .

Tak więc, model popytu na usługi spedycyjne można przedstawić jako zestaw następujących charakterystyk:

$$\mathbf{D} = \{\Delta, \tilde{\zeta}, \tilde{\omega}, \tilde{\tau}, \mathbf{p}_\theta\}, \quad (4)$$

gdzie:

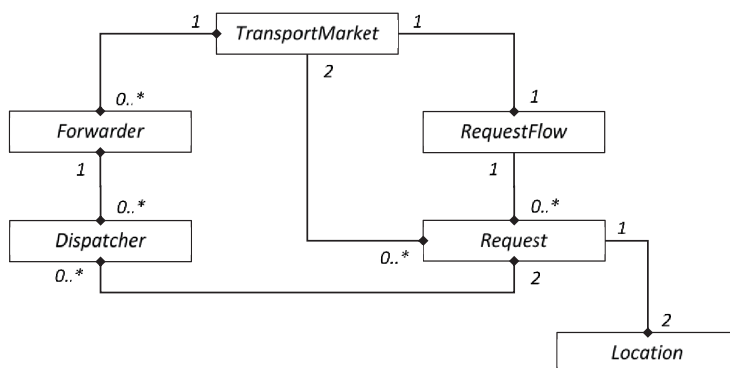
\tilde{x} – zmienna losowa charakteryzująca pewny numeryczny parametr popytu x ;

\mathbf{p}_θ – wektor, i -ty element którego jest prawdopodobieństwem tego, że dla realizacji zamówienia potrzebny będzie pojazd i -tego typu.

Należy zauważyć że liczba zamówień w potoku wygenerowanym na podstawie modelu (4) dla okresu czasu T_m będzie zmienną losową z wartością oczekiwaną $EN = T_m/E\zeta$, gdzie $E\zeta$ – wartość oczekiwana interwału pomiędzy kolejnymi zamówieniami.

2.2. IMPLEMENTACJA PROGRAMOWA MODELU POPYTU

Proponowany model popytu został zaimplementowany w ramach biblioteki klas opracowanej jako narzędzie dla stworzenia modeli symulacyjnych interakcji pomiędzy podmiotami rynku przewozów towarowych. Bibliotekę opracowano w języku Java, jest ona dostępna w postaci otwartej (kod źródłowy klas biblioteki znajduje się pod adresem <https://www.academia.edu/31832379>). Ogólną strukturę biblioteki pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Diagram UML biblioteki klas dla modelowania rynku usług spedycyjnych

Proponowana biblioteka zawiera podstawowe klasy, na podstawie których tworzy się elementy modelu procesu technologicznego obsługi spedycyjnej:

- klasa *Request* jest wykorzystywana przy modelowaniu zamówień na usługi spedycyjne;
- klasa *RequestFlow* jest stosowana do opisu popytu na usługi spedycyjne jako potoku zamówień;
- klasa *Location* jest wykorzystywana w celu modelowania lokalizacji geograficznej nadawców oraz odbiorców;
- klasa *Forwarder* pozwala zaimplementować model przedsiębiorstwa spedycyjnego jako element rynku transportowego;
- klasa *Dispatcher* jest zmienną dyspozytora firmy spedycyjnej, obsługującego potok zamówień of właścicieli ładunków oraz przewoźników;
- klasa *TransportMarket* jest wykorzystywana w celu opracowania modeli programowych rynku transportowego jako systemu makrologistycznego, elementami którego są spedytorzy oraz odbiorcy usług spedycyjnych.

Przy symulacji popytu na usługi spedycyjne, jako pole klasy *TransportMarket*, tworzona jest jedna instancja klasy *RequestFlow*, która jednak może nie zawierać zamówień (i.e. może zawierać pusty zbiór zamówień – elementów typu *Request*). Dla każdej klasy *Request* zdefiniowane są dwa pola typu *Location*, które zawierają informacje o lokalizacji nadawcy i odbiorcy partii ładunku.

Argumentami konstruktora każdej klasy typu *RequestFlow* są: nazwa pliku Excel zawierającego elementy macierzy Λ , charakterystyki zmiennych losowych $\tilde{\zeta}$, $\tilde{\omega}$ i $\tilde{\tau}$, elementy wektora \mathbf{p}_θ , tablice zawierające nazwy geograficznych regionów (dla zdefiniowania obiektów typu *Location*) oraz czas symulacji T_m .

3. STUDIUM PRZYPADKU

Wykorzystując opisany model popytu na usługi spedycyjne, na podstawie danych portalu logistycznego lardi-trans.com w październiku-listopadzie 2016 r. przeprowadzono badanie popytu na usługi spedycyjne dla rynku przewozów towarów transportem drogowym na terytorium Ukrainy. Główne wyniki wymienionego badania przedstawione są w publikacji [5].

W badaniu jako podstawowe geograficzne regiony zostały wykorzystane obwody – jednostki administracyjne Ukrainy pierwszego rzędu. Ponadto obwody zostały połączone w grupy według wysokości taryf na przewozy ładunków transportem drogowym:

- 1 grupa: czerkaski, dnipropropietrowski, kijowski, kirowohradzki, połtawski, winnicki, zaporoski oraz żytomierski obwody (centrum);
- 2 grupa: chersoński, mikołajowski oraz odeski obwody (połudzień);
- 3 grupa: czernihowski, doniecki, charkowski, ługański oraz sumski obwody (północ i wschód);
- 4 grupa: iwanofrankowski, chmielnicki, lwowski, rówieński, tarnopolski oraz wołyński obwody (zachód);
- 5 grupa: czerniowiecki i zakarpaccy obwody oraz Republika Autonomiczna Krymu (regiony z najniższą taryfą).

Dla zdefiniowanych w taki sposób grup regionów opracowano macierz podróży przedstawioną w tablicy 1.

Tablica 1

Empiryczna skonsolidowana macierz podróży dla regionów Ukrainy (jesień 2016 r.)

Grupa regionów	1	2	3	4	5	Suma
1	23,52%	12,48%	6,29%	4,67%	0,66%	47,60%
2	2,57%	3,73%	0,88%	0,73%	0,25%	8,16%
3	9,68%	2,39%	4,43%	0,57%	0,14%	17,21%
4	8,54%	4,40%	1,45%	9,29%	2,42%	26,10%
5	0,52%	0,14%	0,01%	0,18%	0,07%	0,92%
Suma	44,82%	23,14%	13,06%	15,44%	3,54%	100,00%

Według wyników badań [5] zmienne losowe $\tilde{\zeta}$ interwału pomiędzy kolejnymi zamówieniami w potoku oraz akceptowalnego czasu oczekiwania $\tilde{\tau}$ mają rozkład wykładniczy. Natomiast wielkość partii została podzielona na dwie zmienne – zamówienia z partią do 18 ton (zmienna ma rozkład wykładniczy), oraz zamówienia z partią powyżej 18 ton (zmienna o rozkładzie logarytmiczno-normalnym). Wszystkie charakterystyki numeryczne potoku zamówień zostały oszacowane dla zestawu zbadanych prób jako wartości średnie ważone według liczby zamówień w próbie (tab. 2).

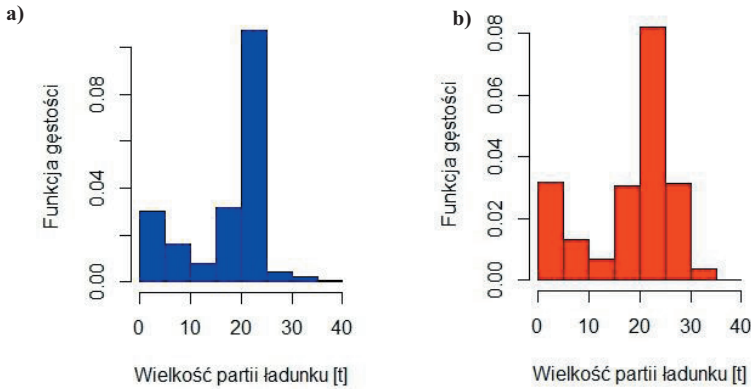
Tablica 2

Parametry popytu na usługi spedycyjne na terytorium Ukrainy (jesień 2016 r.)

Parametr	Średnia ważona wartość
Udział zamówień na samochody dostawcze [%]	80,04
Udział zamówień na ciężarówkę [%]	12,30
Udział zamówień na inne pojazdy [%]	7,66
Udział zamówień z wielkością partii ładunku do 18 ton [%]	27,69
Udział zamówień z wielkością partii ładunku powyżej 18 ton [%]	72,31
Parametr skali dla zmiennej losowej interwału pomiędzy zamówieniami, [h ⁻¹]	0,002
Parametr skali dla zmiennej losowej wielkości partii (do 18 ton) [ton ⁻¹]	0,161
Parametr skali dla zmiennej losowej wielkości partii (powyżej 18 ton)	3,122
Parametr kształtu dla zmiennej losowej wielkości partii (powyżej 18 ton)	0,144
Parametr skali dla zmiennej losowej akceptowalnego czasu dostawy [dni ⁻¹]	0,605

Za pomocą opracowanego oprogramowania i na podstawie oszacowanych parametrów został zbudowany model popytu na spedycyjne usługi dla rynku przewozów towarów transportem drogowym na terytorium Ukrainy. Adekwatność implementacji modelu popytu należy sprawdzać dla każdego ze składników – poszczególnych zmiennych losowych, macierzy podróży oraz wektora prawdopodobieństw \mathbf{p}_θ . Na podstawie implementacji programowej modelu w celu sprawdzenia jego adekwatności, uruchomiony został eksperyment symulacyjny. Eksperyment powtórzono 100 razy dla modelu popytu z charakterystykami parametrów, przedstawionymi w tablicy 2.

Jakość wyników modelowania numerycznych parametrów popytu jako zmiennych losowych proponuje się sprawdzać na podstawie testu zgodności chi-kwadrat Pearsona. Wstępnie, dla wartości empirycznych parametru ustala się wektor częstości empirycznych, a dla próby zawierającej wartości parametru wygenerowane za pomocą modelu, oszacowuje się wektor częstości teoretycznych; dalej na podstawie tych wektorów oblicza się statystykę testową chi-kwadrat. Dla wszystkich zmiennych losowych w każdej z zaimplementowanych realizacji modelu stwierdzono, że nie jest odrzucona hipoteza o zbieżności rozkładów empirycznych i teoretycznych. Przykład histogramów rozkładu empirycznego oraz teoretycznego, na podstawie których obliczano statystykę chi-kwadrat, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład wielkości partii ładunku w potoku zamówień dla:
a) empirycznego potoku zamówień, b) wygenerowanego potoku zamówień

Dopasowanie macierzy Δ oraz wektora \mathbf{p}_θ oceniano na podstawie współczynnika determinacji R^2 . Wartość współczynnika obliczono na podstawie wariancji elementów empirycznej macierzy (lub wektora) oraz wariancji błędu – różnicy pomiędzy odpowiednim elementem empirycznego wskaźnika oraz wartości teoretycznej, uzyskanej w realizacji modelu:

$$R^2(\Delta) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_R \cdot N_R} (\delta_{ei} - \delta_i - \bar{\varepsilon})^2}{\sum_{i=1}^{N_R \cdot N_R} (\delta_{ei} - \bar{\delta}_e)^2}, \quad (5)$$

gdzie:

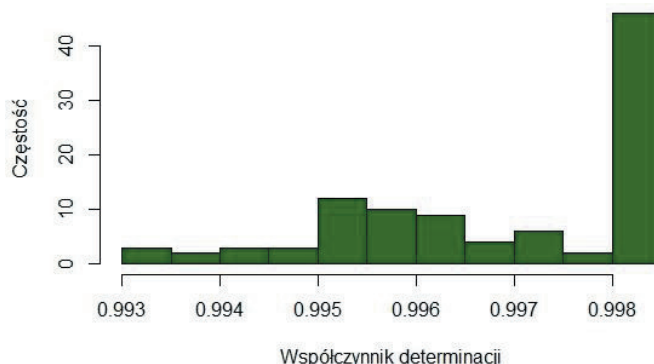
δ_{ei} oraz δ_i – wartości i -tego elementu macierzy Δ empirycznej oraz uzyskanej w realizacji modelu popytu;

$\bar{\varepsilon}$ – średni błąd elementów zmodelowanego wskaźnika: $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N_R^2} \cdot \sum_{i=1}^{N_R \cdot N_R} (\delta_{ei} - \delta_i)$;

$\bar{\delta}_e$ – średnia wartość elementów empirycznego parametru: $\bar{\delta}_e = \frac{1}{N_R^2} \cdot \sum_{i=1}^{N_R \cdot N_R} \delta_{ei}$;

N_R – liczba geograficznych regionów w modelu popytu.

Wartości współczynnika determinacji oszacowane dla macierzy Δ oraz wektora \mathbf{p}_θ , na podstawie wyników przeprowadzonego eksperymentu przyjmują wartości powyżej 0,99, co świadczy o bardzo wysokiej dokładności dopasowania. Rozkład współczynnika determinacji dla macierzy podróży uzyskanych w poszczególnych implementacjach modelu popytu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Rozkład współczynnika determinacji dla macierzy podróży Δ

Wyniki przeprowadzonych symulacji popytu na usługi spedycyjne dla rynku przewozów towarowych na Ukrainie świadczą o wysokiej dokładności modeli uzyskiwanych na podstawie opracowanego oprogramowania.

4. WNIOSKI

Zaproponowane podejście do modelowania popytu na usługi spedycyjne pozwala na podstawie publicznie dostępnych danych oszacować numeryczne parametry potoku zamówień jako zmiennych losowych odpowiednich charakterystyk potoku, jak i również pozwalają ustalić rozkład popytu z uwzględnieniem regionów geograficznych. Opisane parametry numeryczne do oceny popytu są głównymi cechami charakterystycznymi, na bazie których można opracować model popytu na usługi spedycyjne.

Opracowana biblioteka klas do modelowania procesów interakcji pomiędzy podmiotami rynku przewozów towarowych jest efektywnym narzędziem do modelowania popytu na usługi ekspedycyjne, o czym świadczą wyniki przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego.

Stworzony na podstawie przedstawionego aparatu matematycznego model popytu może być wykorzystywany jako podsystem innych, bardziej rozbudowanych modeli symulacyjnych do rozwiązywania szeregu problemów w dziedzinie obsługi spedycyjnej, na przykład: uzasadnienie strategii dla uczestników rynku przewozów towarowych, opracowanie efektywnych wariantów procesów technologicznych obsługi klientów, poprawa struktury floty pojazdów, itp.

Bibliografia

1. Albert, A., Schaefer, A.: Demand for freight transportation in the U.S.: A high-level view, 54th Annual Transportation Research Forum 2013, p. 103–120.
2. Allen W.B.: The demand for freight transportation: A micro approach, Transportation Research 1977, vol. 11/1, p. 9–14.
3. Barone, V., Crocco, F., Mongelli, D.W.E.: Freight transport demand models for applications in urban areas, Applied Mechanics and Materials 2014, vol. 442, p. 634–644.
4. Chow J., Yang C.H., Regan A.C.: State-of-the art of freight forecast modeling: lessons learned and the road ahead, Transportation 2010, vol. 37, p. 1011–1030.
5. Naumov V., Kholeva O.: Studying demand for freight forwarding services in Ukraine on the base of logistics portals data. Procedia Engineering 2017, vol. 187, p. 317–323.
6. Naumov V., Nagornyi Ie.: An approach to modelling of demand for freight forwarding services. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, oddział w Krakowie 2014, nr. 1(103), s. 267–277.
7. Regan A.C., Rodrigo A.G.: Modeling freight demand and shipper behavior: State of the art, future directions, Institute of Transport Studies, University of California, 2002.
8. Rodrigue J.-P.: The geography of transport systems, Routledge, New York, 2013.
9. Wan, J.H., Zhang, Y.W.: Design and implementation of the freight forwarding management information system based on ROR, Proc. of the Int. Conf. on Control Engineering and Information System 2015, p. 919–922.
10. Winston C.: The demand for freight transportation: models and applications, Transportation Research Part A: General 1983, vol. 17/6, p. 419–427.
11. Zhou, W., Zhang, J., Chen, H.: Service quality evaluation for international freight forwarder, Proc. of the 7th Int. Conf. on Service Systems and Service Management 2010, p. 515–519.

MODELING DEMAND FOR FORWARDING SERVICES ON THE BASIS OF LOGISTICS PORTALS DATA

Summary: The demand model is an essential element in any decision support model in the field of transport and logistics. The adequacy of the applied demand model and the data used in order to develop it assure correct simulation results of logistics systems. Modern forwarding companies are usually called the architects of logistics chains because they play the role of organizers of the interaction between transport market operators. Therefore, the decisions made by the forwarders affect the effectiveness of each link in the logistics chain, so these decisions should be justified on the basis of the adequate demand model. Modeling of demand for forwarding services is a particularly complex problem due to a large number of stochastic factors forming demand and limited access to sources of up-to-date demand parameters. The authors have proposed an approach to estimate parameters of demand for forwarding services on the grounds of data obtained on Internet logistics portals (so-called transport exchanges). Based on the estimated parameters, a model of demand for forwarding services and its software implementation were developed. Demand simulations carried out using developed software allow to conclude high convergence of demand parameters derived from the model and relevant empirical values of these parameters.

Keywords: forwarding services, demand model, logistics portal