

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI WYBRANYCH METOD PROGNOZOWANIA ZBIOROWYCH PRZEPIŹYWÓW PASAŻERSKICH W OBRĘBIE MIASTA

Streszczenie

Efektywne zarządzanie ruchem osobowym w mieście coraz częściej staje się przedmiotem rozważań teoretyków i praktyków zajmujących się logistyką miejską. Ruch osobowy, charakteryzujący się jednocześnie specyficznym rozkładem czasowym i przestrzennym, zwłaszcza na terenach wysoce zurbanizowanych stanowi znaczną część przemieszczeń w obrębie miasta. Rosnące znaczenie indywidualnego transportu zmotoryzowanego stanowi poważne zagrożenie dla sprawnego, ekonomicznie skutecznego oraz zapewniającego odpowiedni poziom oraz jakość życia miasta.

Szczególnej uwagi w tym zakresie wymagają w związku z tym rozwiązania dotyczące zbiorowego transportu miejskiego. Istotnym wydaje się opracowanie metod pozwalających na właściwe monitorowanie oraz przewidywanie z odpowiednim wyprzedzeniem tendencji dotyczących zachowań użytkowników indywidualnego oraz zbiorowego transportu miejskiego.

Słowa kluczowe: prognozowanie, efektywność, logistyka miejska

1. WPROWADZENIE

Zarządzanie miastem jest zaplanowaną działalnością władz lokalnych, prowadzoną we współpracy z innymi podmiotami realizującymi swe cele i zaspokajającymi swe potrzeby na terenie miasta. Zadaniem samorządu lokalnego jest oprócz dążenia do rozwoju bazy ekonomicznej miasta, wzrostu jego znaczenia jako ośrodka kultury, czy też zapewnienia sprawnego funkcjonowania infrastruktury i rozwoju gospodarki miejskiej, dążenie do stworzenia jak najlepszych warunków życia poszczególnym użytkownikom miasta [3]. Przestrzenna koncentracja przemysłu, handlu i ludzi na stosunkowo niewielkim obszarze wymaga zarządzania uwzględniającego interdyscyplinarne podejście do pojawiających się problemów.

Coraz częściej podkreśla się również zależność pomiędzy sprawnym i efektywnym (przede wszystkim szybkim i stosunkowo tanim) zarządzaniem ruchem osobowym w obrębie miasta a jakością życia jego mieszkańców. Właściwe sterowanie przepływami w obrębie miasta jest tym bardziej ważne, że nie można tak naprawdę mówić o bezpośrednim przełożeniu pomiędzy poprawą twardych wskaźników decydujących o efektywności infrastruktury miejskiej a subiektywną poprawą jakości życia postrzeganą przez mieszkańców. Nie zawsze bowiem poziom rozwoju gospodarczego bezpośrednio determinuje poziom życia mieszkańców, a przede wszystkim subiektywne jego postrzeganie. Tym bardziej więc istotnym wydaje się właściwe przewidywanie zmian w ruchu osobowym w obrębie miasta uwzględniające oprócz czynników o charakterze ilościowym także szczególny charakter tej mobilności (wolność i niezależność jego uczestników)[4].

Celem pracy jest analiza efektywności wybranych metod prognozowania zbiorowych przepływów pasażerskich w obrębie miasta oraz określenie czynników determinujących tę efektywność.

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Ekonomiczny, Wyższa Szkoła Biznesu w Gorzowie Wlkp., Wydział Ekonomiczny

** Wyższa Szkoła Biznesu w Gorzowie Wlkp., Wydział Ekonomiczny

2. MATERIAŁ BADAWCZY

Analizie poddane zostały miesięczne informacje o kształtowaniu się liczby przewozów pasażerskich wykonanych w ramach komunikacji miejskiej w jednym z miast Północno-zachodniej Polski.

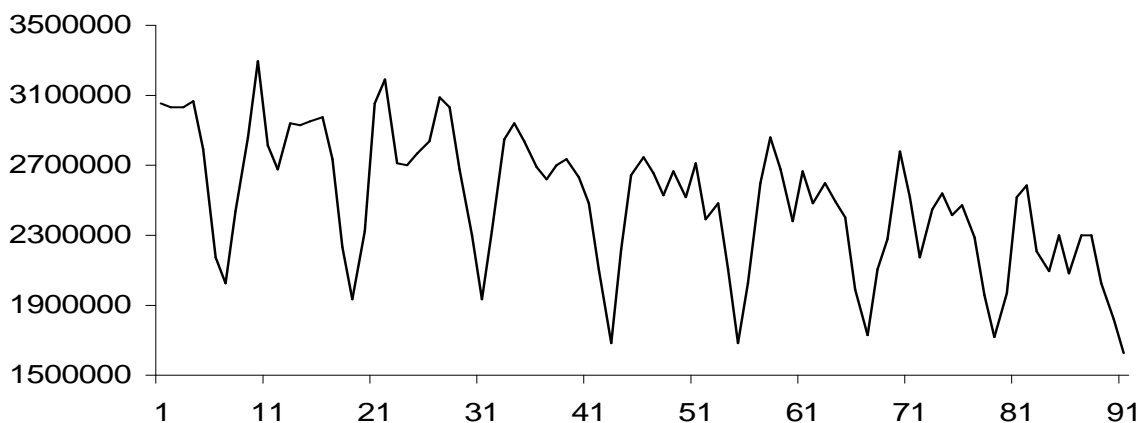
Oceny podstawowych charakterystyk opisowych badanych zmiennych zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Podstawowe charakterystyki opisowe dla zmiennej Y_1 (84 miesiące)

Charakterystyki opisowe					
Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności (%)	Minimum	Maksimum	Iloraz Max/min
2529782,86	373046,24	14,75	1680050	3292030	1,96

Źródło: obliczenia własne.

Natomiast na rysunku 1 przedstawiono kształtowanie się badanej zmiennej w latach 2002-2009 (dane obejmują okres od stycznia 2002 do lipca 2009).



Rys. 1. Kształtowanie się liczby przewozów pasażerskich wykonanych komunikacją miejską w latach 2002-2009

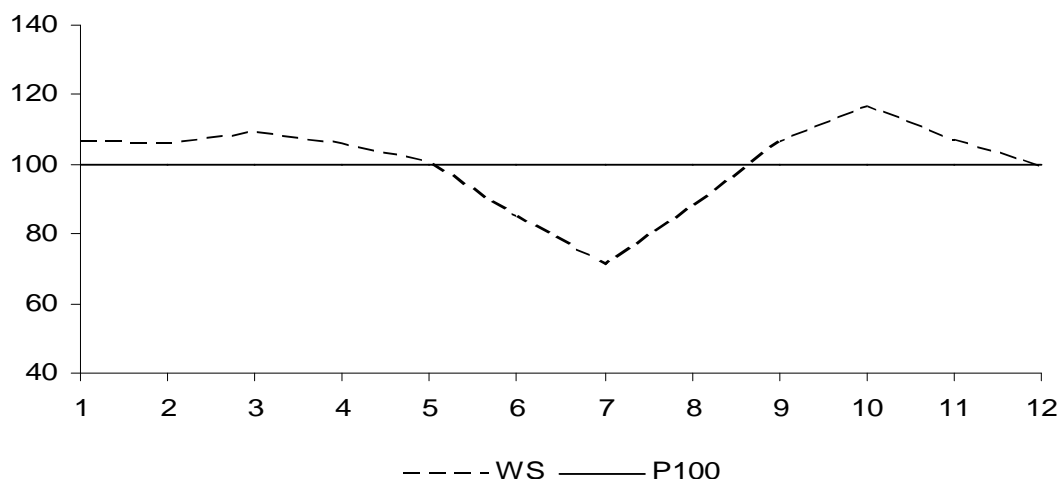
Źródło: opracowanie własne

Analiza przedstawionych informacji wskazuje na istnienie wyraźnych wahań sezonowych. Ocena współczynnika zmienności dla analizowanej zmiennej wynosi blisko 15%. Potwierdzeniem istnienia wyraźnych wahań sezonowych są również wskaźniki sezonowości wyznaczone dla badanej zmiennej, przedstawione w tablicy 2 oraz na rysunku 2.

Tablica 2. Wskaźniki sezonowości dla 12 miesięcy

Wskaźniki sezonowości							
I	II	III	IV	V	VI	Minimum- maksimum	45,30
106,25	105,79	109,12	105,99	100,37	84,88		
VII	VIII	IX	X	XI	XII		
71,17	87,49	106,21	116,48	106,61	99,62		

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 2. Wskaźniki sezonowości dla 12 miesięcy
Źródło: opracowanie własne

3. ZASTOSOWANE METODY BADAWCZE

Szczegółowej analizie porównawczej poddano wyniki prognozowania ekstrapolacyjnego uzyskane zarówno za pomocą metod uwzględniających wahania sezonowe oraz metod, które takich wahań nie uwzględniają.

W prognozowaniu ekstrapolacyjnym badanej zmiennej wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów, model Holta-Wintersa, modele wyrównania wykładniczego Browna, liniowy model Holta oraz metodę wielomianową Lagrange'a z węzłami rozłożonymi proporcjonalnie oraz węzłami rozłożonymi zgodnie z funkcją optymalizacyjną Czebyszewa[5]. Wykorzystanie w prognozowaniu sezonowych szeregów czasowych, metod nieuwzględniających występowania wahań sezonowych (modele trendu bez wahań sezonowych, metoda wielomianowa Lagrange'a, modele wyrównania wykładniczego Browna oraz liniowy model Holta), było możliwe dzięki zastosowaniu prezentowanej w literaturze[6], metody wskaźników sezonowości polegającej na bezpośrednim prognozowaniu zmiennych, z których wyeliminowano wahania sezonowe. Ze względu na potwierdzoną wcześniejszymi badaniami [2] wysoką efektywność pośredniego wykorzystania metod właściwych dla danych bez wahań sezonowych w wyniku zastosowania opisywanej procedury oczyszczania sezonowych szeregów czasowych, w pracy wykorzystano multiplikatywny wariant tej metody.

Dla poszczególnych faz cyklu wyznaczono tzw. surowe wskaźniki sezonowości (w_j):

$$w_j = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N u_{t_j} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

gdzie: $\sum_{t=1}^N u_{t_j}$ suma ilorazów wartości szeregu empirycznego i teoretycznego (trendu) w okresie j .

Następnie dokonano obliczenia oczyszczonych wskaźników w ten sposób, aby spełnione zostały następujące warunki:

$$\prod_{j=1}^m \hat{w}_j = m$$

Natomiast w celu otrzymania danych oczyszczonych wartości szeregu zostały podzielone przez wskaźniki sezonowości \hat{w}_j . Prognozy dla modelu multiplikatywnego obliczono na podstawie wzoru:

$$\hat{y}_{tp} = \hat{Y}_{tp}^* \cdot \hat{w}_j \quad (2)$$

Do oczyszczania szeregów czasowych z wahań sezonowych wykorzystano wskaźniki sezonowości o cyklu miesięcznym, wyznaczone na podstawie danych z lat 2001-2008 (84 obserwacje).

Z przedstawionych informacji wynika, że wysokiej dynamice w przypadku analizowanej zmiennej, towarzyszą stosunkowo duże wahania okresowe. Dlatego też zostały oszacowane modele szeregu czasowego z trendami wielomianowymi ze stałą oraz zmienną sezonowością:

$$Y_t = \sum_{j=0}^r \alpha_j t^j + \sum_{j=0}^1 \sum_{k=1}^m d_{jk} t^j Q_{kt} + U_t \quad (3)$$

przy warunku:

$$\sum_{k=1}^m d_{jk} = 0 \quad \{j = 0, 1, \quad t = 1, 2, \dots, n\}$$

Jeżeli w (3) przyjmujemy, że $j=0$ to otrzymamy modele o periodycznych składnikach sezonowych. Umieszczając po lewej stronie logarytmy zmiennej Y_t otrzymamy równania z sezonowością relatywnie stałą (dla $j=0$) bądź zmienną.

Budowa prognoz na podstawie wybranych metod numerycznych była możliwa dzięki wykorzystaniu programu komputerowego *Prognostyk* pracującego w środowisku *Microsoft Windows*. Program ten umożliwia nie tylko wyznaczenie prognoz i obliczenie ich błędów, ale także ich prezentację graficzną.

4. PREZENTACJA I OCENA WYNIKÓW BADAŃ

Zestawienie ocen błędów prognoz ekstrapolacyjnych oszacowanych na podstawie wybranych metod prognozowania przedstawiono w tablicy 3.

W prezentowanej tablicy użyto następujących oznaczeń: A – dla szeregów nieoczyszczonych z wahań sezonowych oraz B(12) – dla szeregów oczyszczonych za pomocą 12-miesięcznych wskaźników sezonowości.

W odniesieniu do wykorzystanych metod numerycznych przyjęto, że L-3WP – to metoda Lagrange'a z 3 węzłami rozłożonymi proporcjonalnie, L-4WP - metoda Lagrange'a z 4 węzłami rozłożonymi proporcjonalnie, L-3WC – metoda Lagrange'a z 3 węzłami rozłożonymi zgodnie z funkcją optymalizacyjną Czebyszewa, L-4WC – metoda Lagrange'a z 4 węzłami rozłożonymi zgodnie z funkcją optymalizacyjną Czebyszewa.

Dla predyktorów szacowanych MNK przyjęto oznaczenia: trend liniowy (TL), trend kwadratowy (T2), wielomian trzeciego stopnia (T3), trend wykładniczy o stałej stopie wzrostu (TW), wykładniczy o zmiennej stopie wzrostu (TW2), wykładniczy z wielomianem trzeciego stopnia (TW3), s – oznacza modele trendu, w których uwzględniono zostały stałe wahania sezonowe, z – modele, w których sezonowość opisywana jest za pomocą zmiennych wahań sezonowych.

Natomiast dla predyktorów wykładniczych: P – prosty model Browna, L – liniowy model Browna, K – kwadratowy model Browna, H –dwuparametrowy liniowy model Holta. W przypadku tej klasy modeli po oznaczeniach modeli występują optymalne oceny stałych (stałych) wygładzania.

Tablica 3. Zestawienie ocen średnich błędów prognoz ekstrapolacyjnych

Szereg	Model/ metoda	Błędy prognoz ekstrapolacyjnych (w %)		
		h=3	h=6	h=7
A	TLS	7,39	6,08	6,73
	T2S	7,05	5,86	6,63
	T3S	8,23	6,62	6,92
	TWS	6,95	5,60	5,29
	TW2S	6,06	4,63	4,61
	TW3S	7,23	5,96	5,52
	TLZ	6,29	6,20	5,70
	T2Z	5,87	5,90	5,52
	T3Z	7,23	7,07	6,08
	TWZ	7,14	6,56	5,88
	TW2Z	6,17	5,89	5,44
	TW3Z	7,41	6,89	6,02
	HW	3,83	4,07	4,62
B(12)	TL	6,02	4,81	4,85
	T2	5,66	4,42	4,58
	T3	6,79	5,77	5,48
	TW	6,57	5,42	5,27
	TW2	5,68	4,45	4,59
	TW3	6,44	5,36	5,21
	L3WP	3,58	3,62	4,59
	L3WC	3,43	3,35	4,11
	L4WP	3,96	3,70	3,65
	L4WC	3,81	4,03	5,31
	P2	7,03	6,35	5,80
	L1	5,09	3,79	4,14
	K1	3,82	3,34	4,07
H21	4,85	3,65	4,12	

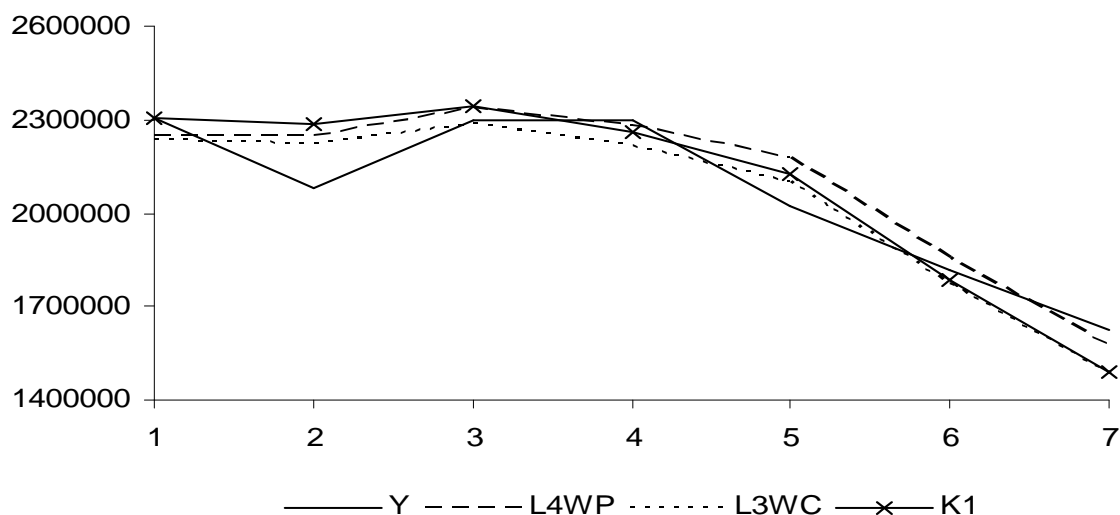
Źródło: obliczenia własne.

Z analizy informacji przedstawionych w powyższej tabeli wynika, że najniższą ocenę średniego względnego błędu prognoz ekstrapolacyjnych, na poziomie 3,85%, w przypadku najdłuższego horyzontu prognozowania (h=7 miesięcy), uzyskano w wyniku zastosowania metody wielomianowej Lagrange, a z 4 węzłami rozłożonymi proporcjonalnie (przyjęto węzły o numerach: 1, 28, 56, 84). Oceny uzyskane w wyniku zastosowania pozostałych metod prognozowania są nieco wyższe i kształtują się w granicach od 4,07% do 6,92 %.

Analiza wyników prognozowania dla szeregów oczyszczonych i nieoczyszczonych z wahań sezonowych wskazuje że nieco niższe wyniki uzyskano w przypadku szeregów czasowych oczyszczonych z wahań sezonowych. Otrzymane wyniki prognozowania ekstrapolacyjnego w oparciu o szeregi, w których wyeliminowano wahania sezonowe za pomocą metody wskaźników sezonowości potwierdzają wysoką efektywność tego sposobu prognozowania szeregów czasowych.

W około połowie analizowanych przypadków najniższe oceny średnich względnych błędów prognoz uzyskano w przypadku najdłuższego horyzontu prognozowania (h=7 miesięcy). We wszystkich pozostałych, najniższe oceny otrzymano dla horyzontu o jeden miesiąc krótszego (h=6 miesięcy). Otrzymane wyniki wskazują na stosunkowo dużą zależność efektywności prognozowania od długości przyjętego horyzontu prognozowania.

Szczegółowe wyniki modelowania predyktywnego oraz prognozowania ekstrapolacyjnego uzyskane dla 3 najlepszych modeli przedstawiono na kolejnym rysunku.



Rys. 3. Najlepsze prognozy ekstrapolacyjne

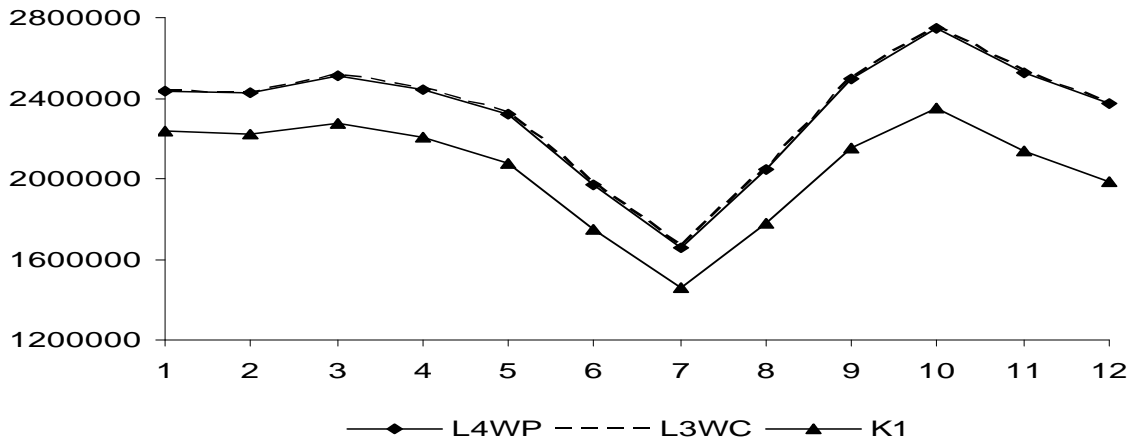
Źródło: opracowanie własne

W następnej kolejności historyczny szereg czasowy został uzupełniony (przedłużony) prognozami uzyskanymi na podstawie ekstrapolacji głównych tendencji rozwojowych, czyli na podstawie metod pozwalających na uzyskanie najniższych ocen błędów prognoz ekstrapolacyjnych. W tabelicy 4 oraz na rysunku 4 przedstawione zostały wyniki prognozowania „*ex ante*” dla 12 kolejnych miesięcy uzyskane za pomocą najlepszych modeli.

Tabela 4. Zestawienie prognoz „*ex ante*” dla 12 kolejnych miesięcy (od VIII 2009 do VII 2010)

Model/ metoda		
L4WP	L3WC	K1
2430575	2432913	2239378
2425438	2429670	2218999
2508278	2514389	2278053
2443374	2450475	2202057
2321002	2328530	2075101
1969593	1976213	1746227
1657775	1663327	1457077
2045850	2052237	1781982
2494318	2501116	2152336
2748253	2754077	2348467
2527771	2531289	2138434
2374529	2375425	1987879

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 4. Prognozy „ex ante” dla 12 kolejnych miesięcy
 Źródło: opracowanie własne

5. PODSUMOWANIE

Wraz z dynamicznym rozwojem miast i aglomeracji miejsko-przemysłowych, obejmującym wzrost liczby ludności, liczby zakładów produkcyjnych oraz usługowych, instytucji publicznych następuje zagęszczanie się sieci drogowo-komunalnych.

Jak wynika z prognoz liczba samochodów na świecie z obecnych 800 mln może do 2050 r. zwiększyć się do 1,6-2,0 mld, przy czym 80% ogółu pojazdów będą stanowić samochody osobowe, w większości będące w prywatnym posiadaniu [1].

Poziom motoryzacji jest jednym z pośrednich mierników rozwoju gospodarczego i kondycji ekonomicznej społeczeństwa, a posiadanie własnego samochodu jest już nie tyle wyznacznikiem pozycji społecznej co naturalną konsekwencją rozwoju motoryzacji. Tym bardziej, że coraz częściej normą stają się rodziny posiadające 2 i więcej samochodów.

Gwałtowny wzrost motoryzacji niesie ze sobą konsekwencje w postaci: nasilania się zatorów, niższej prędkości jazdy, wydłużania się czasu przejazdów czy też pogarszania się naturalnych warunków środowiskowych. Coraz częściej podkreśla się także wzajemne oddziaływanie pomiędzy sprawnym system logistyki miejskiej a jakością życia mieszkańców miasta.

Znaczny przyrost liczby samochodów osobowych w obrębie miast sprawia, że coraz większego znaczenia nabiera konieczność opracowywania „dobrych” prognoz dotyczących wskaźników motoryzacji, od których zależą wszystkie decyzje transportowe zwiane np. z ilością parkingów czy rozwojem sieci drogowo-ulicznej.

Przyrost indywidualnych samochodów osobowych to również konsekwencje dla zbiorowych przepływów pasażerskich w obrębie miasta. Spadek przychodów ze sprzedaży biletów to pierwsza najszybciej zauważalna konsekwencja wzrostu poziomu motoryzacji. Mniejsze wpływy to w konsekwencji niższe środki na wymianę floty samochodowej, wzrost cen biletów a w dalszej kolejności pogorszenie przede wszystkim subiektywnie postrzeganej jakości życia.

Przedstawiona w pracy analiza zastosowania wybranych metod prognozowania liczby zbiorowych przewozów pasażerskich ma przede wszystkim stanowić podstawę do przewidywania przyszłych tendencji rozwojowych w tym zakresie.

Opracowane prognozy mają charakter krótkoterminowy i w związku z tym mogą być wykorzystywane w bieżącej działalności firm obsługujących zbiorowy przepływ osób w obrębie miasta. Długoterminowe prognozy motoryzacyjne o charakterze wariantowym

powinny uwzględniać oprócz przedstawionych tendencji w zakresie liczby przewozów wykonanych w ramach zbiorowej komunikacji miejskiej czy liczby samochodów zarejestrowanych w mieście także czynniki hamujące takiej jak: deficyt sieci drogowo-ulicznej, ograniczona liczba miejsc parkingowych czy też utrudnienia podatkowe i administracyjne związane z użytkowaniem transportu indywidualnego w obszarze miasta [1].

LITERATURA

- [1] Bachirew I.: *Avtomobilizacija i potrebnosti razvitija dorožno-ulicznej seti*, Transportnoje Stroitelstwo, nr 10, s. 2-5, 2008.
- [2] Cheba K., *Zastosowanie metody wskaźników sezonowości w prognozowaniu dla danych dekadowych*, Zeszyty Naukowe AE Wrocław, Wrocław 2005.
- [3] Regulski J.: *Polski samorząd po dziesięciu latach*. W: Michałowski S. (red.) *Samorząd terytorialny III Rzeczypospolitej. Dziesięć lat doświadczeń*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2002.
- [4] Szoltysek J.: *Podstawy logistyki miejskiej*, AE, Katowice 2007.
- [5] Zeliaś A. (red.), *Z badań nad metodami predykcji brakujących informacji*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej nr 114, AE, Kraków 1979.
- [6] Zeliaś A. (red.), *Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania*, PWN, Warszawa 2003.

THE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SELECTED METHODS OF FORECASTING COLLECTIVE FLOW OF PASSENGERS WITHIN THE CITY

Abstract

Effective management of passenger traffic in the city is becoming more a subject of discussion theoreticians and practitioners dealing with urban logistics. Movement of people, characterized by both a specific time and spatial distribution, especially in highly urbanized areas, is a large part of movements within the city. The growing importance of individual motorized transport is a serious threat to the efficient, cost-effective and to ensure an adequate level and quality of life of the city. Particular attention in this area require, therefore, solutions for collective urban transport. It seems important to develop methods for proper monitoring and predict in advance the trends in user behavior of individual and collective urban transport.

Key words: forecasting, effectiveness, city logistics