

**Maria Zych, Joanna Baran**

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

## **PORÓWNANIE SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH W POLSCE Z UWZGLĘDNIENIEM OCZEKIWAŃ RÓŻNYCH INTERESARIUSZY**

### *COMPARISON OF TRANSPORT SYSTEMS IN POLAND IN DIFFERENT STAKEHOLDERS POINT OF VIEW*

**Słowa kluczowe: transport, grupy interesu, metoda AHP**

*Key words: transportation, stakeholders, Analytic Hierarchy Process*

**Abstrakt.** Dokonano oceny i porównania transportu zbiorowego w wybranych miastach Polski przy uwzględnieniu oczekiwań różnych grup interesu, tj. pasażerów, władz miasta i operatorów. W badaniach wykorzystano metodę AHP. W pierwszym etapie badań zdefiniowano takie kryteria oceny transportu miejskiego, jak: dostępność, prędkość eksploatacyjna, jakość taboru, przydatność floty, praca przewozowa, koszt wozokilometra, efektywność. Następnie dokonano porównań systemów transportu miejskiego poszczególnych miast w ramach kryteriów i ostatecznie stworzono ich ranking. Pozycję lidera w rankingu zajęła Warszawa, a kolejne miejsca przypadły dla Gdańska, Krakowa i Poznania.

### **Wstęp**

System publicznego transportu miejskiego jest zbiorem obiektów biorących udział w przemieszaniu osób w ramach aglomeracji miejskiej [Solecka 2013]. System zbiorowego transportu miejskiego jest tak skonfigurowany, aby transportować na regularnych, stałych trasach pasażerów z dowolnego obszaru metropolitalnego do ich miejsc docelowych (np. domów, miejsc pracy, centrów handlowych, szkół) [Fierek i in. 2012]. Komunikacja miejska w porównaniu do przemieszczania się prywatnymi środkami transportu ma wiele zalet dla różnych grup interesu, m.in. niższe koszty transportu i zużycie energii oraz mniejsze zanieczyszczenie środowiska. Transport publiczny zwiększa ogólną mobilność społeczności lokalnej, poprawia również dostęp do różnych miejsc, w tym: miejsc pracy, centrów biznesowych i handlowych oraz terenów rekreacyjnych. Władze miejskie, kreując transportową politykę w wielu aglomeracjach, są często zainteresowane dostarczaniem usług transportu publicznego na takim poziomie, aby satysfakcjonował on mieszkańców.

Jednym z kluczowych wyzwań dla zarządzających transportem miejskim jest możliwie najlepsze wykorzystanie dostępnych zasobów transportowych przy ograniczonych możliwościach m.in. finansowych i geograficznych [Igliński 2013]. W związku z tym bardzo istotne jest bieżące monitorowanie i ocena efektywności funkcjonujących i projektowanych systemów transportowych. W literaturze podkreśla się, że kompleksowa ocena miejskich systemów transportowych powinna uwzględniać wiele cech tych systemów, tj.: bezpieczeństwo, komfort jazdy, dostępność, czas jazdy, koszty podróży, niezawodność, czas oczekiwania, gęstość sieci transportowej, styl jazdy (płynność jazdy), hałas i wibracje, komfort przy wsiadaniu i wysiadaniu, punktualność, częstotliwość, przyjazność dla środowiska (tab. 1) [Solecka 2013, Dzwigoń 2012, Fierek i in. 2012].

Wymienione w tabeli 1 kryteria reprezentują interesy różnych podmiotów (grup interesu). Wielu autorów wyróżnia trzy zasadnicze grupy interesariuszy w systemie transportu miejskiego: pasażerów, operatorów i władze gminne [Eggenberger, Partidario 2000, Dębińska-Cyran 2007]. Mieszkańcy (pasażerowie) oczekują zaspokojenia potrzeb przewozowych na odpowiednim poziomie jakości. Operator, angażując określone środki transportu i ludzi, wykonuje przewozy w mieście, a przy tym realizuje politykę miasta w zakresie zaspokojenia potrzeb przewozowych. Z kolei gmina wpływa na układ tras oraz planowanie i organizowanie regularnych przewozów

Tabela 1. Kryteria oceny miejskich systemów transportu i ich ważność dla poszczególnych grup interesu  
 Table 1. Criteria for assessing urban transport systems and their importance for stakeholders

Kryteria/Criteria	Kierunek dążenia/ Purpose	Władze miasta/ City authorities	Zarząd transportu miejskiego/ Local transport authorities	Operator/ Transport operator	Pasażerowie/ Passengers	Inni uczestnicy ruchu/ Other traffic users
Niezawodność/Reliability	max	X	X	X	X	
Dostępność/Availability	max				X	
Częstotliwość/Frequency	min./max		X	X	X	
Bezpieczeństwo/Safety	max	X	X	X	X	X
Integracja systemów transportowych/ The integration of transport systems	max	X	X		X	
Jakość floty/ The quality of the fleet	max	X	X		X	
Prędkość eksploatacyjna/ Speed	max		X	X	X	
Czas podróży/ Travel time	max				X	
Przyjazność dla środowiska/ Environmental friendliness	max	X			X	X
Rentowność/ Profitability	max	X	X			
Koszt przejazdu/ The cost of driving	min./max	X	X		X	
Wykorzystanie taboru/ The use of fleet	max	X	X	X		
Efektywność finansowa/ Financial efficiency	max	X	X			

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Solecka 2013, Dzwigoń 2012, Fierek i in. 2012]  
 Source: own study based on [Solecka 2013, Dzwigoń 2012, Fierek i in. 2012]

miejskich. Niektórzy autorzy wśród grup interesu wymieniają także społeczności lokalne, kierowców prowadzących pojazdy komunikacji publicznej i innych użytkowników dróg. Kompleksowa ocena funkcjonowania transportu miejskiego wymaga zatem uwzględnienia oczekiwań różnych grup interesu, co wiąże się z tym, że kryteria oceny powinny mieć różny charakter, tj. techniczny, ekonomiczny i społeczny.

Zdarza się, że interesy różnych grup mają sprzeczny charakter, co utrudnia ocenę, planowanie i zarządzanie systemami transportu miejskiego. Istnieją jednak metody, które przy podejmowaniu decyzji, pozwalają na poszukiwanie kompromisowych rozwiązań dla różnych grup interesu. Do takich metod można zaliczyć metody wielokryterialne (*multiple-criteria decision analysis*), które znalazły zastosowanie w licznych pracach dotyczących miejskich systemów transportu m.in. Chang i Shyu [1995], Gomes [1989], Saaty [1995], Tabucanon, Lee [1995], Fierek i współautorów [2012].

Celem głównym badań była ocena i porównanie systemów publicznego transportu miejskiego w wybranych aglomeracjach Polski przy uwzględnieniu oczekiwań różnych grup interesu.

### Material i metodyka badań

Materiałem źródłowym do badań były dane z systemu monitorowania lokalnych usług publicznych dostępne w Internetowym Systemie Analiz Samorządowych (ISAS). W ramach badań wybrano 21 miast, dla których w systemie ISAS dostępne były dane niezbędne do przeprowadzenia oceny miejskich systemów transportowych. Do kompleksowego porównywania

systemów transportowych wykorzystano metodę wielokryterialną – AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Metoda AHP umożliwiła ocenę logistyki miejskiej przy uwzględnieniu złożoności systemu transportu publicznego i różnorodności oczekiwań interesariuszy. Metoda ta bazuje na zasadach wieloattributowej teorii użyteczności [Keeney, Raiffa 1993]. Algorytm metody AHP składa się z czterech faz:

1. Faza dotyczy tworzenia hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego, gdzie definiuje się: cel procesu, kryteria oraz warianty poddawane ocenie.
2. Faza zakłada określenie preferencji decydenta za pomocą względnych ocen ważności kryteriów i wariantów. Oceny te powstają poprzez porównywanie parami wszystkich elementów znajdujących się na danym poziomie hierarchii. Oceny wyrażane są za pomocą wartości liczbowych według skali od 1 do 9 (czasem do 7) zaproponowanej przez Saatiego [1980]. Na podstawie tak określonych ocen na każdym poziomie hierarchii tworzone są macierze preferencji, które cechuje spójność parami, tzn.: dany element macierzy jest równoważny względem samego siebie:  $a_{i,i} = 1$  oraz wartość oceny elementu  $b$  względem elementu  $a$  jest odwrotnością oceny  $a$  względem  $b$ :  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . Wynikiem drugiej fazy algorytmu metody AHP są znormalizowane, bezwzględne oceny ważności kryteriów i wariantów. Ze względu na wprowadzoną normalizację suma bezwzględnych ocen ważności na każdym poziomie hierarchii wynosi 1 [Żak 2005].
3. Faza obejmuje zbadanie spójności macierzy preferencji. W tym celu oblicza się współczynniki spójności: *CI* (*Consistency Index*) oraz *CR* (*Consistency Ratio*) [Saaty 1980]. Indeks *CI* wskazuje poziom odchylenia od pożądanej spójności. Na podstawie tego indeksu buduje się współczynnik *CR*, który w procentach wyraża w jakim stopniu porównania elementów danego poziomu struktury są niezgodne względem siebie, czyli czy występuje brak konsekwencji w ich analizie. Dana macierz jest uważana za wystarczająco spójną w sytuacji, gdy wartość współczynnika *CR* jest mniejsza od 0,1. W przypadku większych niespójności decydent powinien przedefiniować swoje preferencje.
4. Faza zakłada stworzenie rankingu końcowego przez obliczenie dla każdego wariantu wartości agregującej funkcji użyteczności. Użyteczność każdego wariantu  $U_i$  jest sumą iloczynów bezwzględnych znormalizowanych ocen ważności wariantu względem wszystkich kryteriów oraz odpowiednich wag kryteriów. Użyteczność reprezentuje udział danego wariantu w celu globalnym i jest syntetyczną, zagregowaną oceną wariantu określającą jego końcową pozycję wśród innych wariantów [Żak 2005].

W ramach pierwszego etapu analizy AHP wśród kryteriów oceny systemów transportu miejskiego przyjęto efektywność, którą obliczono, bazując na metodzie DEA (*Data Envelopment Analysis*). Założenia metody DEA można znaleźć w pracach [Coelli i in. 2005, Cooper i in. 2007]. Ocenę miejskich systemów transportowych z wykorzystaniem DEA prowadzili m.in.: Viton [1997], Chu i współpracownicy [1992], Nolan [1996], Levaggi [1994], Karlaftis [2004], Husain i współpracownicy [2000], Pina i Torres [2001].

## Wyniki badań

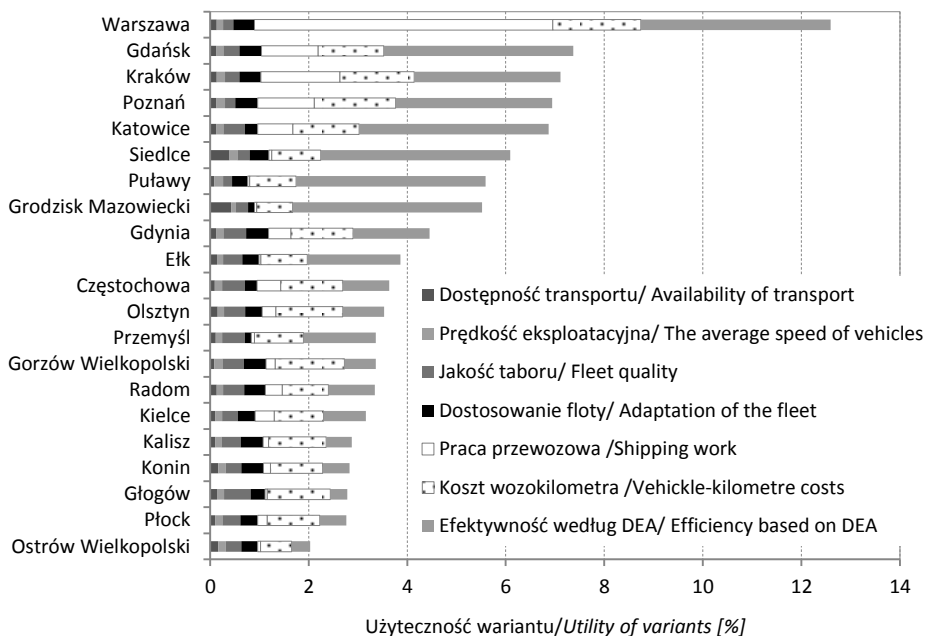
W pierwszym etapie badań zdefiniowano problem decyzyjny jako wielokryterialne zadanie szeregowania (rankingu) miast w zależności od poziomu rozwoju systemu transportu miejskiego. Następnie określono zestaw kryteriów oceniających transport miejski. Wśród kryteriów znalazły się:

1. Dostępność miejskiego systemu transportowego (km/km<sup>2</sup>) – wyraża gęstość publicznych, miejskich sieci transportowych na obszarze miast. Kryterium ma charakter społeczny, gdyż mierzy wygodę pasażerów w dostępie do miejskiego systemu transportowego w początkowych i docelowych miejscach ich podróży. W ramach tego kryterium ważna jest także dostępność przystanków (tj. średnia odległość od budynków mieszkalnych, usługowych do najbliższego przystanku) – kryterium nie zostało ujęte w badaniu ze względu na brak danych.
2. Prędkość eksploatacyjna pojazdów (km/h) – kryterium to jest jednym z istotniejszych dla pasażerów, gdyż bezpośrednio wpływa na czas podróży pasażerów, a tym samym na ich zadowolenie.

3. Jakość taboru (lata) – kryterium to można mierzyć w różny sposób m.in.: średnim wiekiem pojazdów, techniczną niezawodnością środków transportu, specjalnymi urządzeniami stosowanymi w pojazdach, pozwalającymi na zwiększenie komfortu podróżowania (klimatyzacja, biletomaty, informacja pasażerska itp.). Ma ono istotny wpływ na komfort podróży pasażerów, ale także na koszty operacyjne (zużycie paliwa, utrzymanie). Jest ważne zarówno dla pasażerów, jak i władz, które finansują serwis pojazdów, ma charakter techniczny i społeczny. Kryterium mierzono średnim wiekiem pojazdów.
4. Dostosowanie floty do potrzeb pasażerów (%) – kryterium o charakterze społecznym, dla niektórych grup pasażerów bardzo ważna jest konstrukcja techniczna pojazdu, np. wyposażenie w niską podłogę lub w inne urządzenia dla osób niepełnosprawnych lub matek z wózkami, co ułatwia podróż tym grupom pasażerów. Kryterium mierzono jako odsetek pojazdów o niskiej podłodze.
5. Praca przewozowa (wozokilometr) – kryterium liczone jest jako liczba kilometrów wykonana przez środki transportu w danym mieście w ciągu roku. Dla zarządzających transportem miejskim wysoka wartość tego kryterium może świadczyć o dobrym dopasowaniu taboru do oferowanych usług przewozowych.
6. Koszt wozokilometra (zł/wozokilometr) – kryterium obrazuje syntetyczną, zagregowaną miarę kosztów jednostkowych, jakie generuje tabor miejski. Jest istotne dla właścicieli taboru i zarządzających, gdyż to kryterium może wskazywać, które pojazdy powinny być wycofane z eksploatacji, i może wiązać się z poprawą rentowności przedsiębiorstw i obniżką kosztów eksploatacyjnych.
7. Efektywność systemu transportu miejskiego (wskaźnik DEA z przedziału 0-1) – kryterium ma ekonomiczny charakter i jest szczególnie ważne dla władz lokalnych, które pokrywają straty finansowe miejskich systemów transportu, a także dla władz państwa, które mogą kierować środkami z budżetu na różne projekty w zakresie transportu publicznego. W ramach badań efektywność oceniono bazując na nieparametrycznej metodzie DEA. Do modelu DEA przyjęto następujące zmienne:
  - efekt 1 – wpływy ze sprzedaży biletów (zł),
  - efekt 2 – liczba pasażerów przewożonych lokalnym transportem zbiorowym (bez metra) w ciągu roku w granicach administracyjnych gminy (osoby),
  - nakład 1 – łączna długość tras autobusowych, tramwajowych, trolejbusowych (km),
  - nakład 2 – średnia liczba miejsc w stojących i siedzących autobusach/tramwajach/trolejbusach (szt.),
  - nakład 3 – wydatki bieżące z budżetu gminy na lokalny transport zbiorowy (zł).

Wariantami, które w analizie AHP porównano i uszeregowano od najgorszego do najlepszego, były systemy transportu zbiorowego w wybranych polskich miastach. Decydentami w analizie byli zarządzający systemami transportu na poziomie lokalnym i krajowym. W wyniku opisanych wyżej działań powstała macierz ocen zawierająca wartości wszystkich kryteriów dla analizowanych wariantów – miast.

W celu określenia ważności poszczególnych kryteriów oraz wrażliwości decydenta na zmiany ich wartości, w ramach 2. fazy metody AHP porównano parami wszystkie elementy hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego, w następującej kolejności: najpierw porównano kryteria z uwagi na cel główny, później porównano między sobą warianty w odniesieniu do poszczególnych kryteriów. Ocenę tych porównań wyrażono za pomocą 9-stopniowej skali Saaty'ego [1980]. Umożliwiła ona w sposób ilościowy określenie przewagi jednego elementu nad drugim. W kolejnym etapie metody AHP obliczono bezwzględne znormalizowane wagi poszczególnych kryteriów. Największy wpływ na realizację celu głównego, jakim jest ocena transportu miejskiego z perspektywy zarządzających tym transportem, miało kryterium 7., tj. efektywność systemu transportu miejskiego bazująca na metodzie DEA – waga równa 0,41. Na następnych miejscach były kryteria 6. (koszt wozokilometra) i 5. (praca przewozowa). Najmniej istotne w przeprowadzonej analizie były kryteria 1. i 2., czyli odpowiednio dostępność transportu i prędkość eksploatacyjna, które otrzymały wagę 3,08.



Rysunek 1. Ranking końcowy polskich miast bazujący na metodzie AHP

Figure 1. Final ranking of Polish cities based on AHP method

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

W ramach 2. fazy badań dokonano również wzajemnego porównania rozpatrywanych wariantów (miast) względem poszczególnych kryteriów. Określono względną pozycję systemu transportu w danym mieście w stosunku do innych miast, ocenianych według poszczególnych kryteriów.

W 3. fazie przeprowadzono analizę spójności na podstawie indeksu  $CI$  oraz współczynnika  $CR$ . Wyniki dowodzą, że zaproponowana procedura definiowania preferencji decydenta w metodzie AHP spełniała warunek spójności. Biorąc to pod uwagę uzyskaną informację preferencyjną, uznano za odpowiednią i przystąpiono do kolejnej fazy obliczeń.

W 4. fazie obliczono użyteczność każdego wariantu  $U_i$ . Na rysunku 1 przedstawiono uszeregowanie końcowe wariantów (miast) od najlepszego do najgorszego według malejącej użyteczności. Wartości użyteczności były również informacją o względnej „odległości” pomiędzy wariantami. W rozważanym przypadku system transportu miejskiego w Warszawie przewyższał pozostałe warianty (użyteczność 0,2518). Różnica pomiędzy nim a pozostałymi wariantami była stosunkowo duża. W dalszej kolejności znajduje się Gdańsk (użyteczność 0,1473) oraz Kraków (użyteczność 0,1422). Z kolei na ostatniej pozycji uszeregowania znalazł się Ostrów Wielkopolski (użyteczność 0,0406).

### Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań, wykorzystując metodę AHP, stworzono ranking miast według oceny publicznego transportu zbiorowego w poszczególnych aglomeracjach. Przewodzącym w rankingu okazała się Warszawa, która swoją najlepszą pozycję zawdzięcza bardzo dobrym wynikom w zakresie dwóch kryteriów – efektywności systemu transportu miejskiego ocenionego według DEA oraz pracy przewozowej. Organizacja systemu transportowego w tym mieście może stanowić *benchmark* dla innych badanych miast. Najslabszym wariantem okazał się



system transportu miejskiego w Ostrowie Wielkopolskim. Biorąc pod uwagę kryteria o charakterze społecznym, technicznym i ekonomicznym, liderami rankingu zostały duże miasta, które mają rozbudowaną sieć transportu miejskiego – zarówno infrastrukturę liniową, jak i punktową, a także często posiadają nowoczesny tabor. Wątpliwość może budzić, czy zasadne jest uwzględnienie w tym samym rankingu miast różnej wielkości. Zdaniem autorów otrzymany ranking można rozbić na dwie części, gdzie jedna będzie dotyczyć dużych aglomeracji miejskich, a druga małych i średnich miast i w ten sposób będzie stanowić wiarygodne wsparcie do podejmowania decyzji przez decydentów (zarządzających systemami transportu na poziomie lokalnym i krajowym).

Podsumowując należy stwierdzić, że metody wielokryterialne warto stosować do oceny systemów transportowych miast, gdyż pozwalają uwzględnić interesy różnych interesariuszy. Jednak ze względu na złożoność miejskich systemów transportu w celu ich kompleksowej analizy warto stosować również inne metody, które będą się wzajemnie uzupełniać i dzięki temu dawać bardziej wiarygodne wyniki służące do podejmowania decyzji.

### Literatura

- Chang Y., Shyu T. 1995: *A Fuzzy Multicriteria Model to Evaluate the Privatization of the Public Bus Operations*, Journal of Advanced Transportation, 29(1), 63-79.
- Chu X., Fielding, G.J., Lamar, B.W. 1992: *Measuring transit performance using data envelopment analysis*, Transportation Research 26A (3), 223-230.
- Coelli T.J., Prasada Rao D.S., O'Donnell C.J., Battese G.E. 2005: *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Springer, New York.
- Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. 2007: *Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Dębińska-Cyran I. 2007: *Sposoby rozwiązywania problemów transportu w zgodzie z zasadami zrównoważonego transportu*, Część. 2, Logistyka, 1/2007, 25-28.
- Dzwigoń W. 2012: *Preferencja pasażerów w małych miastach na przykładzie aglomeracji krakowskiej*, Transport Miejski i Regionalny, 11/2012, 11-14.
- Eggenberger M., Partidario M. 2000: *Development of Framework to assist the integration of environmental, social and economic issues in spatial planning*, Impact Assessment and Project Appraisal, vol. 18, 3/2000, 201-207.
- Fierek S., Żak J., Solecka K., Kruszyński M. 2012: *Multiple Criteria Evaluation of the Mass Transit Systems in European Cities*, Logistyka 2/2012, 509-522.
- Gomes L. 1989: *Multicriteria Ranking of Urban Transportation System Alternatives*, Journal of Advanced Transportation, 23(1), 53-66.
- Husain N., Abdullah M., Kuman S. 2000: *Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): a case study in road transport department*, 11(4,5, 6), 830-836.
- Iglińska H. 2013: *Wyzwania polityki transportowej miast. Wydajność systemów transportowych*, Poznań, 15-26.
- Karlaftis M.G. 2004: *A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems*, European Journal of Operational Research 152, 354-364.
- Keeney R., Raiffa H. 1993: *Decision with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Levaggi R. 1994: *Parametric and Nonparametric Approach to Efficiency: The Case of Urban Transport in Italy*, Studi-Economici, 49(53), 67-88.
- Nolan J.F. 1996: *Determinants of productive efficiency in urban transit*, Logistics and Transportation Review, 32(3), 319-342.
- Pina V., Torres L. 2001: *Analysis of the efficiency of local government services delivery, An application to urban public transport*, Transportation Research, Part A, 35, 929-944.
- Saaty T. 1980: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty T. 1995: *Transport Planning with Multiple Criteria: The AHP Applications and Progress Review*, Journal of Advanced Transportation, 81-126.
- Solecka K. 2013: *Wielokryterialna ocena wariantów zintegrowanego systemu miejskiego transportu publicznego*, rozprawa doktorska, Kraków.

- Tabucanon M., Lee H. 1995: *Multiple Criteria Evaluation of Transportation System Improvement Projects: the Case of Korea*, Journal of Advanced Transportation, 29(1), 127-143.
- Viton P.A. 1997: *Technical efficiency in multi-mode bus transit: A production frontier analysis*, Transportation Research, B 31, 23-39.
- Żak J. 2005: *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

### **Summary**

*The paper presents the application of the AHP method to the evaluation of urban transportation in Polish cities. The AHP method allows the analysis by presenting a problem in the form of a hierarchical structure. The presented example pinpointed the main objective, criteria and variants. The authors define a consistent family of criteria that allows to evaluate urban transportation development in Polish cities. All cities are evaluated by criteria and finally ranked from the best to the worst. The best city is Warsaw, which owes the top position in the ranking to the very good performance on efficiency.*

Adres do korespondencji  
dr Joanna Baran, mgr Maria Zych  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, tel. (22) 593 42 60, 593 42 57  
e-mail: joanna\_baran@sggw.pl, maria\_zych@sggw.pl