

# WIELKOKRYTERIALNA OCENA SYSTEMÓW TRANSPORTU KRAKOWA Z UŻYCIEM METODY DEMATEL

Mirosław DYTCZAK<sup>a\*</sup>, Waclaw PRZYBYŁO<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska, ul. Katowicka 48, 45-061 Opole

<sup>b</sup> Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, WAT, ul. Kaliskiego 2, 00-980 Warszawa

**Streszczenie:** Praca poświęcona jest wieloattributowej ocenie perspektywicznych wariantów systemu transportowego dla miasta Krakowa i jego regionu. Rozpatrzono 4 warianty pozwalające na usprawnienie obecnie funkcjonującego, nieefektywnego systemu komunikacyjnego. Istotnym atutem pracy jest wykorzystanie w tym celu interesującej, lecz stosunkowo słabo znanej i wykorzystywanej na świecie metody DEMATEL (ang. *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory*). Jej wykorzystanie pozwala pogłębić wyniki oryginalnej analizy, przeprowadzonej przy użyciu metody AHP/ANP.

*Słowa kluczowe:* miasto, komunikacja, system, inwestycja, ocena, wybór, DEMATEL.

## 1. Wprowadzenie

Współczesne miasta stanowią złożone systemy osadnicze. Jedną z ważniejszych realizowanych w nich funkcji jest komunikacja. Decyduje ona bowiem w znacznym stopniu o efektywności jego funkcjonowania, jego postrzeganiu przez mieszkańców i gości, a także atrakcyjności dla inwestorów. Funkcjonowanie komunikacji wpływa więc znacząco na warunki życia i pracy w mieście. Nie pozostaje ono w związku z tym także bez wpływu na kształtowanie warunków rozwoju lokalnych usług, w tym także związanych z budownictwem.

Dodatковым czynnikiem podwyższającym znaczenie decyzji podejmowanych w odniesieniu do kształtowania systemu komunikacji w mieście jest jego długotrwałe i potencjalnie niekorzystne dla otoczenia oddziaływanie oraz wysokie koszty wdrożenia, funkcjonowania, a zwłaszcza ewentualnych modyfikacji. W związku z tym, decyzje związane z kształtowaniem systemu komunikacji w mieście powinny być przygotowywane rozważnie i z uwzględnieniem wpływu wszelkich istotnych czynników.

Praca poświęcona jest wyborowi perspektywicznego systemu komunikacji dla miasta Krakowa i jego aglomeracji. Podjęcie takich działań jest wciąż konieczne ze względu na od lat zmniejszającą się wydolność istniejących rozwiązań komunikacyjnych, wykorzystujących tramwaje i autobusy. Tematyka ta została przed laty podjęta przez Moryła (1999). Do ustalenia

najbardziej korzystnego spośród 4 wariantów systemu użył on jednej z metod wieloattributowej analizy decyzji (Dytczak, 2010), analizy hierarchicznej procesów AHP (Saaty, 1980). Otrzymane rezultaty przedstawiono w pracy (Moryl i Przybyło, 2010).

W obecnej pracy zastosowano w podobnym celu metody DEMATEL (Gabus i Fontela, 1972), poszerzonej o możliwość realizowania wieloattributowej analizy decyzji (Dytczak, 2008). Zastosowanie tej metody ma na celu zweryfikowanie rezultatów przedstawionych w pracy (Moryl i Przybyło, 2010) oraz ich pogłębienie. Szczegóły związek z zasadami stosowania poszerzonej wersji DEMATELa można przykładowo znaleźć w pracy Dytczaka (2010).

## 2. Wieloattributowa ocena systemów komunikacji

Rozważono możliwość stosowania 4 potencjalnych wariantów systemu komunikacji. Nazwano je w nawiązaniu do wykorzystywanych przez nie podstawowych środków komunikacji. Wyróżniono przy tym systemy:

- kolejowy, oznaczony symbolem E1,
- tramwajowy (obejmujący także szybki tramwaj miejski) E2,
- Krakowską Szybką Kolej Miejską (wykorzystującą tory kolejowe i tramwajowe) E3,
- autobusowy E4.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.dytczak@po.opole.pl

Do wielowymiarowej oceny przedstawionych systemów użyto 3 grup kryteriów:

- środowiskowe Sn (K11-K14),
- funkcjonalne Fu (K21-K28),
- ekonomiczne Ek (K31-K38).

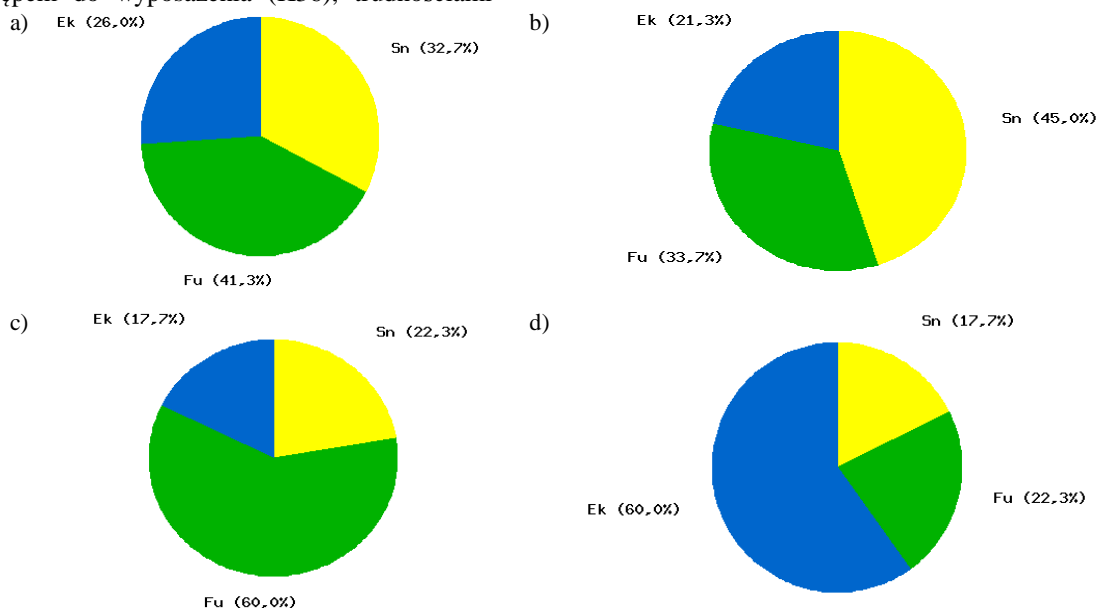
Kryteria środowiskowe oceny systemów obejmują: zagrożenie hałasem (K11), zanieczyszczanie powietrza (K12), naruszanie krajobrazu (K13), zmiany w infrastrukturze (K14).

Kryteria funkcjonalne ujmują: dostępność systemu (K21), ogólny czas podróży (K22), komfort podróży (K23), ilość przesiadek (K24), punktualność (K25), bezpieczeństwo (K26), trudność wprowadzania systemu (K27), częstotliwość funkcjonowania (K28).

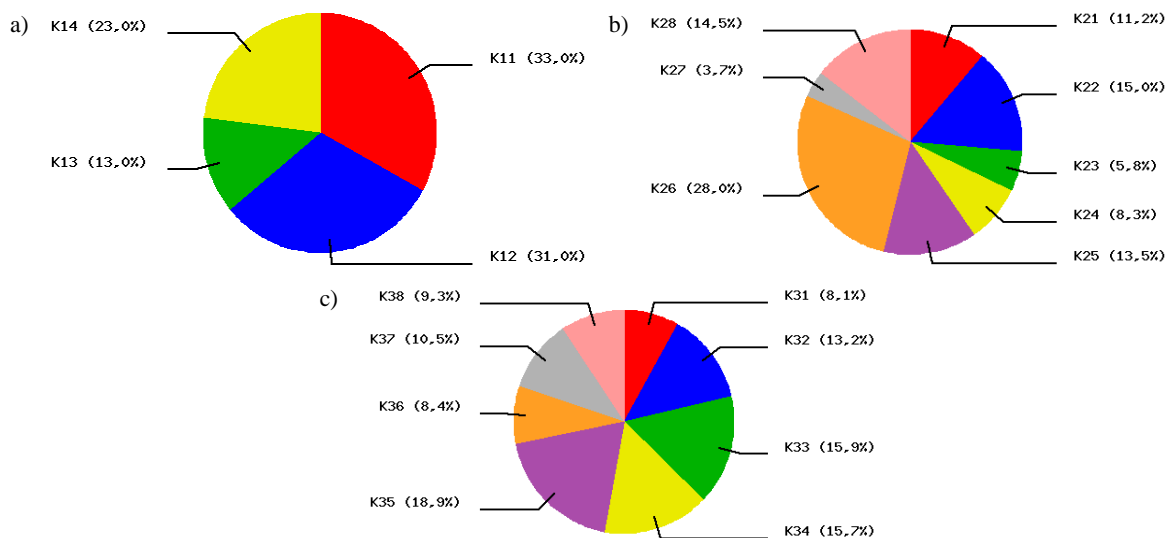
Kryteria ekonomiczne wiążą się z: kosztami budowy (K31), wyposażenia (K32), eksploatacji (K33) i osobowymi (K34), możliwością etapowania inwestycji (K35), dostępem do wyposażenia (K36), trudnościami

likwidacji (K37) oraz wpływem na wartość terenu (K38).

Podobnie, jak w pracy (Moryl i Przybyło, 2010), w trakcie analizy wykorzystano wartości wag, wyrażających znaczenie kontekstów (grup) wielo-trybutowej analizy systemów, związane z trzema scenariuszami: zrównoważonym (Zro) oraz czterema scenariuszami faworyzującymi jeden z kontekstów analizy: środowiskowy (Sro), funkcjonalny (Fun) i ekonomiczny (Ekn). Przyjęto przy tym wartości wag znaczenia kontekstów analizy wyznaczone przy użyciu metody AHP, a podane w ww. pracy. Wartości wag znaczenia kontekstów analizy przyjęte w ramach poszczególnych scenariuszy zestawiono na rysunku 1. Natomiast, także znormalizowane, wartości wag, odpowiadające kryteriom poszczególnych grup przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Udziały grup kryteriów w ocenie wariantów systemu transportowego (Moryl i Przybyło 2010): a) udział równoważony (Zro), b) preferencja środowiska (Sro), c) preferencja funkcjonalności (Fun), d) preferencja ekonomicznej (Ekn)



Rys. 2. Znormalizowane wartości preferencji kryteriów w poszczególnych grupach (Moryl i Przybyło 2010): a) kryteria środowiskowe (K11-K14), b) kryteria funkcjonalne (K21-K28), c) kryteria ekonomiczne (K31-K38)

Preferencje wyboru poszczególnych wariantów systemu wyznaczono dzięki użyciu DEMATELa, stosując przy tym dwie skale oceny (wpływu): 0-8 oraz 0-4. Na podstawie ocen relacji między kryteriami, dla każdego z kryteriów oceny K11-K38, zbudowano grafy bezpośredniego wpływu DEMATEL, wyrażające relację (przewagę) poszczególnych wariantów. Przedstawiono je na rysunku 3. Wierzchołki grafów odpowiadają ocenianym wariantom systemu, a ich łuki – ocenie dokonanej przez ekspertów (wartości podane przed nawiasem odpowiadają skali ocen 0-8, a w nawiasach 0-4). Wartości ocen uzyskano dzięki odpowiednim przekształceniom oryginalnych ocen AHP (Moryl i Przybyło 2010), dokonanych zgodnie z zasadami przedstawionymi w pracy (Dytczak i Ginda 2010).

Na podstawie obliczeń, przeprowadzonych zgodnie z procedurą DEMATELa, dla każdego z rozważanych wariantów systemu komunikacji, otrzymano zestawy wartości wskaźników pozycji (prominencji)  $s^+$  i relacji  $s^-$ , odpowiadające (częstkowemu) kontekstowi poszczególnych kryteriów. Po znormalizowaniu tych wskaźników przy użyciu liniowej formuły unitaryzacji zerowanej (Dytczak 2008), dokonano ich agregacji dzięki zastosowaniu ważonej formuły liniowej. Wykorzystano przy tym, ustalone wcześniej, wartości wag kryteriów. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 4. Z uwagi na to, że przy zastosowaniu obu skal uzyskano bardzo podobne rezultaty (maksymalna różnica nie przekracza z reguły kilku procent), na wykresach przedstawiono jedynie rezultaty odpowiadające użyciu skali 0-8. Komplety wartości wskaźników zamieszczono natomiast w tabelicy 1 (wartości w nawiasach odpowiadają zastosowaniu skali 0-4).

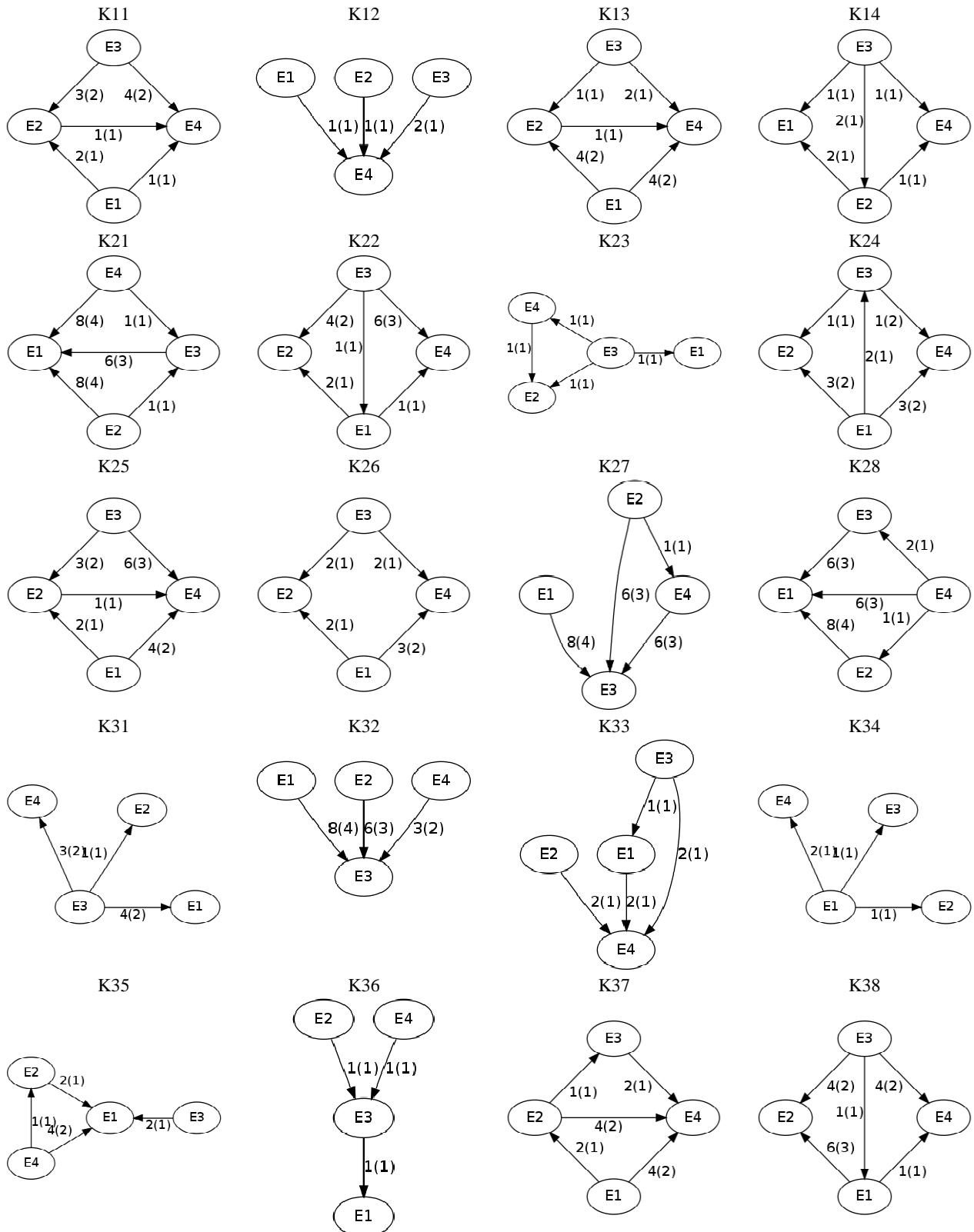
O kolejności systemów świadczą wartości wskaźnika relacji  $S^-$ , natomiast wartości wskaźnika pozycji  $S^+$  świadczą jedynie o roli poszczególnych systemów w ustalaniu relacji między nimi. Wartości wskaźnika relacji otrzymane w przypadku każdego z rozpatrywanych scenariuszy Zro, Srn, Fun, Ekn świadczą o stałej przewadze systemu KSKM nad pozostałymi. Na drugim miejscu plasuje się niezmiennie system kolejowy,

a na trzecim tramwajowy. Zdecydowanie najgorszym okazuje się system autobusowy. Otrzymane wyniki w pełni potwierdzają, w zakresie współczynnika relacji, wnioski wynikające z oryginalnych badań dokonanych przy użyciu AHP (Moryl i Przybyło, 2010).

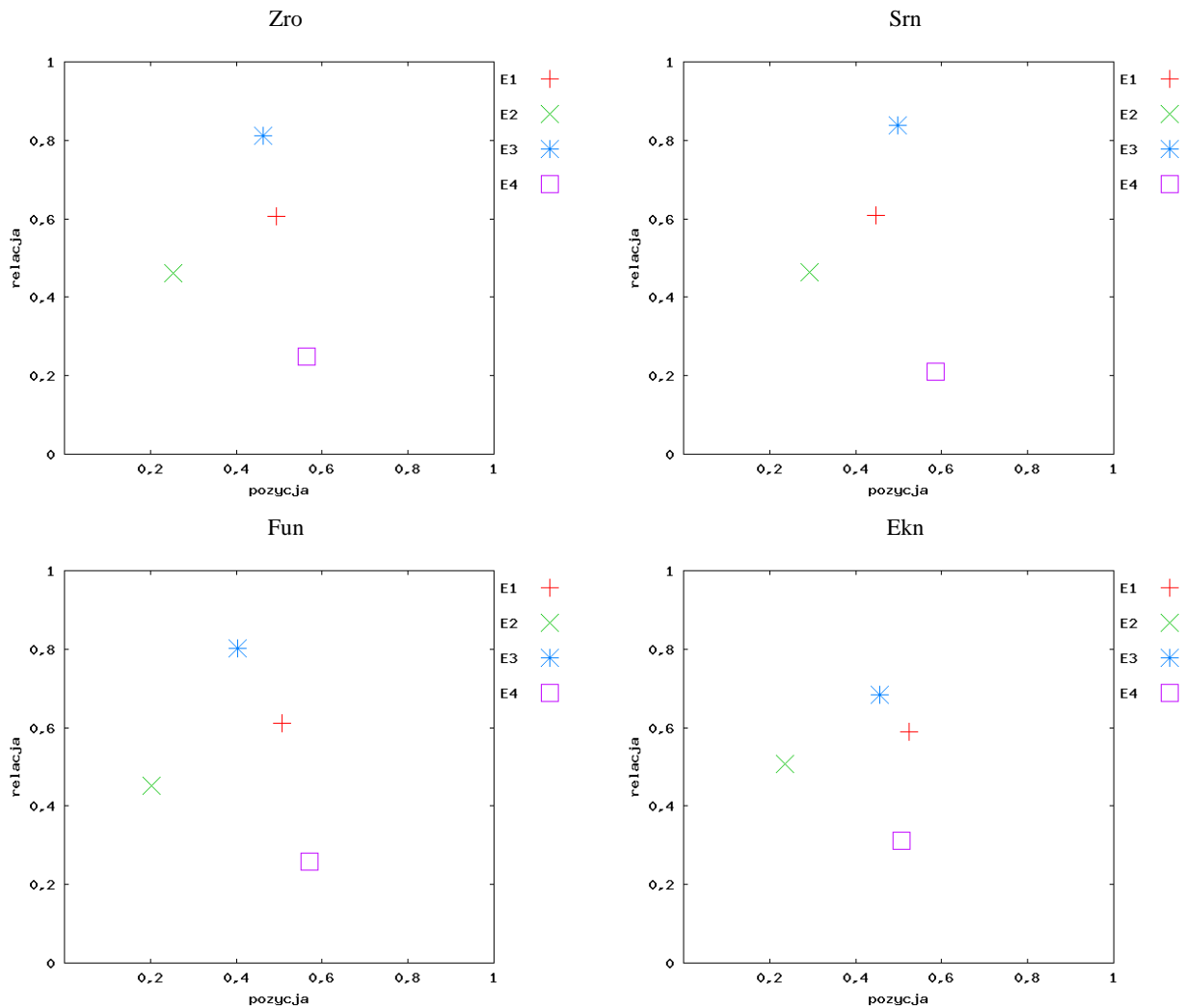
Wartości wskaźnika pozycji wskazują na stałą, niezależną od rozważanego scenariusza, ponadprzeciętną rolę systemu autobusowego w identyfikacji relacji między systemami. Najmniejszą rolę wykazuje się przy tym stałe system tramwajowy.

Tab. 1. Otrzymane wartości wskaźników

System		E1	E2	E3	E4
Zro	$S^+$	0,4933 (0,4525)	0,2526 (0,2462)	0,4617 (0,4347)	0,5632 (0,5830)
	$S^-$	0,6058 (0,6170)	0,4605 (4848)	0,8116 (0,7955)	0,2482 (0,2339)
Srn	$S^+$	0,4479 (0,3911)	0,2937 (0,2812)	0,4986 (0,4517)	0,5867 (0,6171)
	$S^-$	0,6086 (0,6303)	0,4627 (0,5013)	0,8380 (0,8269)	0,2095 (0,1912)
Fun	$S^+$	0,5359 (0,5057)	0,2054 (0,2027)	0,4185 (0,4022)	0,5559 (0,5696)
	$S^-$	0,6048 (0,6107)	0,4294 (0,4522)	0,8185 (0,8010)	0,2691 (0,2587)
Ekn	$S^+$	0,5390 (0,5240)	0,2308 (0,2360)	0,4443 (0,4559)	0,5056 (0,5059)
	$S^-$	0,5988 (0,5898)	0,5251 (5078)	0,7123 (0,6831)	0,3227 (0,3121)
Pozycja		II	III	I	IV



Rys. 3. Przyjęte postaci grafu bezpośredniego wpływu DEMATEL



Rys. 4. Zagregowane wartości wskaźników prominencji i relacji

### 3. Podsumowanie

Użycie rozszerzonej wersji metody DEMATEL pozwoliło pomyślnie zweryfikować wyniki wcześniejszej, przeprowadzonej dzięki użyciu metody AHP, analizy tego samego, złożonego problemu wyboru najlepszego wariantu systemu komunikacji publicznej dla miasta Krakowa i aglomeracji krakowskiej. Ponadto dostarczyło ono wzbogacającą analizę informację o roli poszczególnych systemów w ustalaniu relacji między nimi.

Potwierdza to więc użyteczność rozszerzonej wersji DEMATELa przy rozwiązywaniu złożonych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych.

### Literatura

- Gabus A., Fontela E. (1972). World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL. *Battelle Geneva Research Centre*. Geneva, Switzerland.
- Dytczak M. (2008). Równoległe zastosowanie metod AHP i DEMATEL w wielokryterialnej ocenie decyzji. W: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*. Knosala R. (red.). T.I. OW PTZP, Opole, 249-257.

- Dytczak M. (2010). Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie. *Politechnika Opolska*, Opole.
- Dytczak M., Ginda G. (2010). Common input data structure for multiple MADA methods application for objects evaluation in civil engineering. W: *proc. of the 10th International Conference „Modern Building Materials, Structures and Techniques”*, Lithuania 2010. *Selected Papers*. Vaianiūnas P., Zavadskas E.V. (Eds.). Vol. I. TECHNIKA, Vilnius, 399-402.
- Moryl J. (1999). Wykorzystanie infrastruktury kolejowej dla miejskiej i regionalnej komunikacji zbiorowej na przykładzie Krakowskiego Zespołu Metropolitalnego. Analiza i propozycja rozwiązania. Kraków (praca niepublikowana).
- Moryl J., Przybyło W. (2010). Modelowanie i i optymalizacja infrastruktury komunikacyjnej wielkiej aglomeracji na przykładzie aglomeracji krakowskiej. W: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*. Knosala R. (red.). T.II. PTZP, Opole, 245-255.
- Saaty T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. *McGraw-Hill*, New York.

**DEMATEL-BASED MULTI-CRITERIA  
EVALUATION OF PUBLIC TRANSPORTATION  
SYSTEMS FOR CRACOW**

**Abstract:** Multi-criteria evaluation of perspective public transportation systems for the city of Cracow and Cracow agglomeration is dealt with in the paper. Four distinct system alternatives are included. A little known multi-criteria decision

analysis method, namely extended DEMATEL is applied with this regard. Its utilisation makes validation of outcomes of original AHP-based analysis of the same problem possible. It also extends analysis results providing decision maker with additional information with regard to relations between considered decision making alternatives.