

EWALUACJA WSKAŹNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH W ZARZĄDZANIU FLOTĄ POJAZDÓW PRZY WYKORZYSTANIU LOGIKI ROZMYTEJ

W artykule przedstawiono zagadnienia związane ze wskaźnikami eksploatacyjnymi w zarządzaniu flotą pojazdów, metodyką DEMATEL oraz logiką rozmytą. Zaproponowano również integrację obydwu metod, którą zastosowano do oceny wskaźników KPI. Artykuł może być użyteczny dla osób z branży transportowej zainteresowanych nowoczesnymi zagadnieniami w zarządzaniu eksploatacją floty pojazdów.

WSTĘP

Kluczowe wskaźniki wydajności KPI (ang. Key Performance Indicators) są w firmach istotnymi miernikami używanymi do pomiaru wydajności w odniesieniu do celów biznesowych [1-5]. Procedura DEMATEL (ang. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) jest szeroko stosowana do oceny związków przyczyna-skutek [6-8]. Dzięki elastyczności jest wykorzystywana także w metodach eksperckich i systemach wspierania decyzji. Z kolei jedną z ważnych zalet stosowania logiki rozmytej [9] jest łatwość wyrażenia wiedzy w języku naturalnym. W niniejszym artykule zaproponowano wykorzystanie połączonej metody DEMATEL i logiki rozmytej do analizy wskaźników KPI w obszarze zarządzania flotą pojazdów.

1. WSKAŹNIKI W ZARZĄDZANIU FLOTĄ POJAZDÓW

Własna flota pojazdów powinna przynosić firmie zyski poprzez świadczenie usług transportowych. Poziom zysku jest zależny m.in. od poziomu kosztów ponoszonych na transport i utrzymanie taboru. Prawidłowo zarządzane firmy transportowe starają się realizować wszystkie zleczone zadania transportowe i jednocześnie optymalizować koszty transportu i bieżącego utrzymania. Aby efektywnie i skutecznie zarządzać firmą transportową konieczne jest koordynowanie procesu transportowego, jako podstawowego procesu przynoszącego zyski firmie, z utrzymaniem floty pojazdów, będącej zapleczem dla procesu podstawowego.

Z pomocą w tym zakresie przychodzą firmom monitorowane wskaźniki KPI. Jednak w przypadku wielu wskaźników służących do pomiaru działań oraz wspierających podejmowanie decyzji w zakresie zarządzania, konieczne jest określenie tych wskaźników, które są najbardziej istotne dla osiągnięcia zamierzonego celu. Dodatkowo duża liczba wskaźników oznacza, że wpływają one na siebie nawzajem. W efekcie rodzi się problem z ustaleniem wagi i znaczenia poszczególnych parametrów w firmach. W Tabeli 1 zaproponowano szereg wskaźników, które mogą być wykorzystywane w firmach do oceny efektywności i skuteczności zarządzania flotą.

Tab. 1. Wskaźniki wykorzystywane w zarządzaniu flotą pojazdów.

Wskaźnik	Opis
F1	Stopień realizacji przewozów (zrealizowane tono-kilometry / planowane tono-kilometry)
F2	Stopień użycia pojazdu (objętość przewiezionych ładunków / objętość dostępna w jednostce transportowej)
F3	Stopień użycia floty (liczba pojazdów wymaganych do pojedynczego zlecenia / liczba pojazdów)
F4	Średni czas eksploatacji pomiędzy awariami (czas pracy pojazdu / liczba awarii pojazdu)
F5	Średni czas awarii (czas wyłączenia pojazdu z użycia z powodu awarii / liczba awarii)
F6	Realizacja planu eksploatacyjnego (liczba zrealizowanych zadań wynikających z planu serwisowego / liczba planowanych zadań serwisowych)
F7	Prognozowany plan eksploatacji (liczba planowanych godzin wyłączenia z pracy, wynikających z planu serwisowego / liczba godzin pracy pojazdów)
F8	Sprawność techniczna floty (liczba pojazdów spełniających kryteria techniczne / liczba jednostek kontrolowanych pod kątem spełnienia kryteriów technicznych)
F9	Stopień wypadkowości floty (liczba pojazdów biorących udział w wypadkach / liczba wszystkich pojazdów)
F10	Realizacja ilościowa planu przewozowego (liczba zrealizowanych zleceń / liczba niezrealizowanych zleceń)
F11	Stopień masowego obciążenia pojazdów (tonaż zrealizowanych przewozów / liczba pojazdów)
F12	Stopień ilościowego obciążenia pojazdów (liczba zleceń przewozowych / liczba pojazdów)
F13	Stopień istotności awarii (czas przestoju pojazdów / czas pracy pojazdów)
F14	Częstość występowania awarii (liczba zrealizowanych zleceń przewozów / liczba awarii)
F15	Koszt zlecenia przewozowego (koszty poniesione na flotę pojazdów / liczba zleceń)
F16	Koszt tono-kilometra (koszty poniesione na flotę pojazdów / zrealizowane przewozy w tono-kilometrach)
F17	Koszt utrzymania floty (koszty poniesione na obsługę awarii i serwisu / koszty poniesione na flotę pojazdów)
F18	Efektywność ponoszonych kosztów (koszty poniesione na flotę pojazdów / koszty poniesione na zrealizowane zlecenia)

2. METODY BADAWCZE

2.1. Metody rozmyte

Teoria zbiorów rozmytych i logiki rozmytej jest stosowana w przypadku gdy stosowanie logiki klasycznej jest problematyczne w związku z utrudnioną notacją matematyczną zjawiska lub trudnościami związanymi z uzyskaniem pełnych danych do rozwiązania problemu.

Główne etapy analizy w ramach logiki rozmytej obejmują:

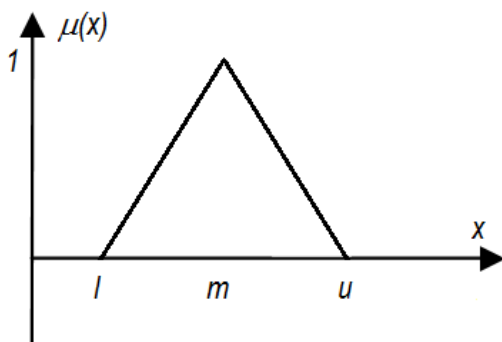
Etap 1: Rozmywanie. Proces przekształcania ilościowych zmiennych wejściowych na jakościowe zmienne wyjściowe, reprezentowane przez zbiory rozmyte, w oparciu o definiujące je funkcje przynależności.

Etap 2: Wnioskowanie w oparciu o funkcję przynależności. Definiuje się bazę reguł, funkcję wnioskowania oraz funkcję przynależności wyjścia modelu, która każdemu elementowi przypisuje jego stopień przynależności do zbioru rozmytego.

Etap 3: Wyostrzenie – precyzowanie. Proces zmiany jakościowych zmiennych wyjściowych na zmienne ilościowe. Dostępnych jest szereg metod wyostrzenia, m.in. metoda środka ciężkości (Center of Gravity), metoda pierwszego maksimum (First of Maxima), metoda środka maksimum (Middle of Maxima), metoda największej wartości (Max Criterion).

Metodyka rozmyta umożliwia łatwą zamianę zmiennych lingwistycznych wyrażonych w języku naturalnym na wielkości rozmyte.

Na Rys. 1 przedstawiono zastosowaną trójkątną funkcję przynależności $\mu(x)$, za pomocą której otrzymuje się trójkątne liczby rozmyte.



Rys. 1. Trójkątna funkcja przynależności.

Trójkątne liczby rozmyte można wyznaczyć korzystając z poniższego wzoru:

$$\mu_{\tilde{A}}(x, l, m, u) = \begin{cases} 0 & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l} & l < x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m < x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (1)$$

Z kolei związek między wartościami zmiennych lingwistycznych i trójkątnych liczb rozmytych został wyrażony w Tabeli 2.

Tab. 2. Związek między wartościami lingwistycznymi i liczbami rozmytymi.

Wartości lingwistyczne	Oznaczenie	Trójkątne liczby rozmyte
Ekstremalny wpływ	EW	(0,75,1,1)
Duży wpływ	DW	(0,5,0,75,1)
Wyraźny wpływ	WW	(0,25,0,5,0,75)
Niewielki wpływ	NW	(0,0,25,0,5)
Brak wpływu	BW	(0,0,0,25)

2.2. Metoda DEMATEL

Podstawowe etapy metodologii DEMATEL przedstawiono poniżej.

Etap 1: Celem tego etapu jest wyznaczenie wskaźników opisujących dane zagadnienie.

Etap 2: Kolejny etap polega na określeniu wzajemnego wpływu na siebie par wszystkich wyznaczonych poprzednio wskaźników. Eksperci, osoby decyzyjne w obszarze rozpatrywanego zagadnienia budują zestawy par wskaźników. W efekcie otrzymuje się zbiór cząstkowych macierzy bezpośredniego wpływu.

Finalna macierz bezpośredniego wpływu Z powstaje w wyniku agregacji wszystkich macierzy cząstkowych. Przyjmuje się, że kryteria mogą wpływać na siebie wzajemnie, ale żadne z nich nie może wpływać na siebie. Element z_{ij} macierzy oznacza wpływ wskaźnika i na wskaźnik j oraz zgodnie z powyższym założeniem elementy $z_{ii} = 0$. Macierz bezpośredniego wpływu Z można zapisać jako:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1j} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z_{i1} & \dots & z_{ij} & \dots & z_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nj} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Etap 3: Kolejnym etapem jest wyznaczenie znormalizowanej macierzy bezpośredniego wpływu X . Wszystkie elementy macierzy X przyjmują wartości z zakresu $0 \leq x_{ij} \leq 1$. Macierz X można zapisać w postaci:

$$X = \frac{Z}{\max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum z_{ij})} \quad (3)$$

Etap 4: W tym kroku wyznaczana jest macierz całkowitego wpływu T :

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (4)$$

gdzie I oznacza macierz jednostkową.

Etap 5: Na tym etapie wyznaczane są tzw. wskaźników pozycji i relacji. W macierzy T , obliczane są sumy (równanie 5) poszczególnych wierszy (r_i) – oznaczające bezpośrednie i pośrednie wpływy kryterium i na inne kryteria. Obliczane są także sumy (równanie 6) wszystkich kolumn (c_j) – oznaczające bezpośrednie i pośrednie wpływy jakie kryterium j otrzymuje od innych kryteriów.

$$R = (r_i)_{n \times 1} = \left(\sum t_{ij} \right)_{n \times 1} \quad (5)$$

$$C = (c_j)_{1 \times n} = \left(\sum t_{ij} \right)_{1 \times n} \quad (6)$$

Wyznaczany jest wskaźnik pozycji $r_i + c_i$, nazywany również wpływem brutto (ang. overall influence) oraz wskaźnik relacji $r_i - c_i$, nazywany również wpływem netto (ang. net influence). Wskaźnik pozycji oznacza zarówno wpływ kryterium i na cały system, jak i wpływ innych wskaźników na współczynnik i . Z drugiej strony dodatnia wartość wskaźnika relacji oznacza, że kryterium i ma wpływ na inne kryteria, ujemna wartość oznacza, że kryterium i jest odbiorcą wpływu innych kryteriów.

Etap 6: Ostatni etap umożliwia budowę wykresu w układzie wskaźnik pozycji – wskaźnik relacji, który zapewnia szybką wizualną ocenę powiązań złożonego zestawu wskaźników.

2.3. Integracja logiki rozmytej i metody DEMATEL

Poniżej przedstawiono sposób integracji logiki rozmytej i metody DEMATEL.

Etap 1: Wybór grupy ekspertów z obszaru dziedziny przeprowadzanej analizy.

Etap 2: Ustalenie grupy wskaźników i określenie wzajemnego wpływu na siebie par wszystkich wskaźników.

Etap 3: Budowa skali łączącej zmienne lingwistyczne z funkcją przynależności.

Etap 4: Budowa zbioru cząstkowych macierzy rozmytych bezpośredniego wpływu. Otrzymanie finalnej macierzy rozmytej bezpośredniego wpływu \tilde{Z} , jako wynik agregacji wszystkich macierzy cząstkowych.

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_{11} & \dots & \tilde{z}_{1j} & \dots & \tilde{z}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{z}_{i1} & \dots & \tilde{z}_{ij} & \dots & \tilde{z}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{z}_{n1} & \dots & \tilde{z}_{nj} & \dots & \tilde{z}_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

gdzie

$$\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (8)$$

Etap 5: Wyznaczenie znormalizowanej macierzy rozmytej bezpośredniego wpływu \tilde{X} gdzie:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

oraz

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{s} \quad (10)$$

gdzie

$$s = \max \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (11)$$

Etap 6: Wyznacza się macierz rozmytą całkowitego wpływu \tilde{T} :

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \dots & \tilde{t}_{1j} & \dots & \tilde{t}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{i1} & \dots & \tilde{t}_{ij} & \dots & \tilde{t}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \dots & \tilde{t}_{nj} & \dots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

gdzie

$$\tilde{t}_{ij} = (\tilde{l}_{ij}, \tilde{m}_{ij}, \tilde{u}_{ij}) \quad (13)$$

$$\tilde{L} = \tilde{X}_l(I - \tilde{X}_l)^{-1} \quad (14)$$

$$\tilde{M} = \tilde{X}_m(I - \tilde{X}_m)^{-1} \quad (15)$$

$$\tilde{U} = \tilde{X}_u(I - \tilde{X}_u)^{-1} \quad (16)$$

Etap 7: Wyznaczane są rozmyte wskaźniki pozycji i relacji dla poszczególnych parametrów KPI.

Etap 8: Wyodrębnienie wskaźników z wykorzystaniem metody środka ciężkości:

$$CoG_{ij} = \frac{u_{ij} - l_{ij} + m_{ij} - l_{ij}}{3} + l_{ij} \quad (17)$$

3. IMPLEMENTACJA PROPONOWANYCH METOD

Grupa ekspertów opracowała zestaw wskaźników (Tabela 1). Następnie każdy z nich ustalił własną macierz lingwistycznej oceny wpływu wskaźników na siebie. Grupa ustaliła zagregowaną macierz lingwistycznej oceny wzajemnego wpływu wskaźników (Tabela 3). Na podstawie tego zestawienia oraz wykorzystując związki z Tabeli 2 uzyskano macierz rozmytą bezpośredniego wpływu \tilde{Z} (tabela 4) oraz znormalizowaną macierz rozmytą bezpośredniego wpływu \tilde{X} .

Tab. 3. Lingwistyczna ocena wzajemnego wpływu wskaźników.

\tilde{Z}	F1	F2	F3	F4	F5	F6	...	F13	F14	F15	F16	F17	F18
F1	BW	NW	WW	NW	NW	NW	...	DW	NW	WW	BW	WW	WW
F2	WW	BW	DW	NW	BW	NW	...	NW	BW	NW	WW	WW	DW
F3	NW	DW	BW	DW	DW	NW	...	NW	NW	WW	NW	WW	DW
F4	WW	NW	NW	BW	WW	WW	...	WW	WW	WW	WW	WW	WW
F5	NW	NW	WW	NW	BW	DW	...	DW	NW	WW	NW	NW	WW
F	WW	NW	DW	WW	NW	BW	...	DW	WW	BW	NW	NW	EW
...
F13	WW	WW	DW	NW	DW	WW	...	BW	WW	WW	BW	WW	NW
F14	WW	WW	DW	WW	WW	NW	...	NW	NW	BW	NW	NW	WW
F15	NW	WW	WW	WW	WW	BW	...	NW	DW	NW	DW	BW	WW
F16	NW	DW	WW	DW	NW	WW	...	NW	WW	WW	DW	WW	DW
F17	NW	DW	DW	WW	WW	WW	...	WW	WW	WW	NW	WW	DW
F18	BW	WW	DW	NW	WW	WW	...	NW	BW	DW	WW	WW	BW

Następnie wyznaczono finalną macierz rozmytą całkowitego wpływu \tilde{T} (Tabela 5).

Na podstawie danych w Tabeli 5 wyznaczono odpowiednie rozmyte wskaźniki pozycji i relacji (Tabela 6).

Tab. 4. Macierz rozmyta bezpośredniego wpływu \tilde{Z} .

\tilde{X}	F1	F2	F3	F4	F5	...	F15	F16	F17	F18
F1	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
F2	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)	...	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)
F3	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)
F4	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
F5	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
...
F15	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	...	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)
F16	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0,0.25,0.5)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)
F17	(0,0.25,0.5)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	...	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)
F18	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	...	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)

Tab. 5. Macierz rozmyta całkowitego wpływu \tilde{T} .

\tilde{T}	F1	F2	F3	F4	F5	...	F15	F16	F17	F18
F1	(0,0,0.11)	(0.04,0.08,0.14)	(0.03,0.09,0.15)	(0.02,0.05,0.14)	(0.04,0.06,0.17)	...	(0.03,0.08,0.14)	(0.02,0.06,0.12)	(0.02,0.08,0.12)	(0.03,0.06,0.12)
F2	(0.05,0.09,0.12)	(0.02,0.03,0.06)	(0.08,0.12,0.17)	(0.04,0.05,0.15)	(0.04,0.03,0.12)	...	(0.03,0.04,0.17)	(0.03,0.05,0.14)	(0.03,0.05,0.11)	(0.02,0.05,0.17)
F3	(0,0.06,0.15)	(0.09,0.11,0.18)	(0.02,0.05,0.06)	(0.03,0.07,0.18)	(0.03,0.08,0.11)	...	(0.02,0.03,0.13)	(0.02,0.06,0.11)	(0.03,0.07,0.14)	(0.04,0.05,0.13)
F4	(0.3,0.07,0.11)	(0.02,0.07,0.12)	(0.03,0.07,0.16)	(0.03,0.05,0.13)	(0.04,0.09,0.13)	...	(0.04,0.08,0.12)	(0.03,0.05,0.15)	(0.04,0.07,0.12)	(0.03,0.06,0.14)
F5	(0,0.06,0.12)	(0.02,0.09,0.13)	(0.04,0.06,0.11)	(0.04,0.09,0.12)	(0.05,0.06,0.12)	...	(0.02,0.07,0.14)	(0.04,0.03,0.13)	(0.02,0.05,0.13)	(0.05,0.07,0.16)
...
F15	(0.03,0.08,0.12)	(0.03,0.08,0.16)	(0.02,0.09,0.15)	(0.03,0.09,0.16)	(0.02,0.06,0.13)	...	(0.03,0.07,0.14)	(0.03,0.07,0.15)	(0.03,0.04,0.13)	(0.04,0.08,0.13)
F16	(0,0.09,0.1)	(0.08,0.09,0.13)	(0.05,0.08,0.19)	(0.02,0.06,0.15)	(0.03,0.06,0.14)	...	(0.02,0.05,0.11)	(0.04,0.09,0.17)	(0.02,0.07,0.15)	(0.02,0.06,0.14)
F17	(0,0.04,0.09)	(0.03,0.09,0.18)	(0.04,0.11,0.18)	(0.03,0.07,0.11)	(0.04,0.09,0.11)	...	(0.04,0.05,0.13)	(0.02,0.07,0.12)	(0.04,0.09,0.16)	(0.03,0.07,0.15)
F18	(0,0,0.11)	(0.06,0.07,0.15)	(0.03,0.08,0.15)	(0.03,0.09,0.18)	(0.05,0.07,0.12)	...	(0.03,0.08,0.16)	(0.03,0.06,0.14)	(0.03,0.05,0.14)	(0.04,0.06,0.12)

Tab. 6. Rozmyte wskaźniki pozycji i relacji.

	\tilde{r}_i	\tilde{c}_i	$\tilde{r}_i + \tilde{c}_i$	$\tilde{r}_i - \tilde{c}_i$
F1	(0.201,0.654,2.246)	(0.172,0.768,2.657)	(0.373,1.422,4.903)	(0.029,-0.114,-0.411)
F2	(0.245,0.725,2.765)	(0.354,1.225,2.853)	(0.599,1.95,5.618)	(-0.109,-0.5,-0.088)
F3	(0.342,0.645,2.425)	(0.423,0.654,2.253)	(0.765,1.299,4.678)	(-0.081,-0.009,0.172)
F4	(0.421,0.943,2.123)	(0.411,1.325,2.825)	(0.832,2.268,4.948)	(0.01,-0.382,-0.702)
F5	(0.354,0.786,2.285)	(0.323,1.225,2.625)	(0.677,2.011,4.91)	(0.031,-0.439,-0.34)
F6	(0.486,0.854,2.825)	(0.465,1.525,2.432)	(0.951,2.379,5.257)	(0.021,-0.671,0.393)
F7	(0.167,0.745,2.645)	(0.234,0.576,3.257)	(0.401,1.321,5.902)	(-0.067,0.169,-0.612)
F8	(0.372,0.965,2.542)	(0.376,1.245,3.854)	(0.748,2.21,6.396)	(-0.004,-0.28,-1.312)
F9	(0.423,0.912,2.638)	(0.654,1.275,2.992)	(1.077,2.187,5.63)	(-0.231,-0.363,-0.354)
F10	(0.192,0.876,2.864)	(0.235,0.625,2.757)	(0.427,1.501,5.621)	(-0.043,0.251,0.107)
F11	(0.324,0.893,2.742)	(0.342,1.823,3.164)	(0.666,2.716,5.906)	(-0.018,-0.93,-0.422)
F12	(0.451,0.938,2.643)	(0.462,1.257,3.431)	(0.913,2.195,6.074)	(-0.011,-0.319,-0.788)
F13	(0.382,0.936,2.923)	(0.378,0.854,2.996)	(0.76,1.79,5.919)	(0.004,0.082,-0.073)
F14	(0.238,0.834,2.793)	(0.342,1.258,3.621)	(0.58,2.092,6.414)	(-0.104,-0.424,-0.828)
F15	(0.429,0.698,2.856)	(0.436,1.582,3.257)	(0.865,2.28,6.113)	(-0.007,-0.884,-0.401)
F16	(0.325,0.837,2.584)	(0.432,1.723,3.246)	(0.757,2.56,5.83)	(-0.107,-0.886,-0.662)
F17	(0.352,0.829,2.637)	(0.412,1.582,3.523)	(0.764,2.411,6.16)	(-0.06,-0.753,-0.886)
F18	(0.416,0.934,2.845)	(0.456,1.832,3.637)	(0.872,2.766,6.482)	(-0.04,-0.898,-0.792)

Finalnie, przy wykorzystaniu metody środka ciężkości uzyskano wyostrzone wskaźniki pozycji i relacji (Tabela 7).

Tab. 7. Wyostrzone wskaźniki pozycji i relacji.

	r_i	c_i	$r_i + c_i$	$r_i - c_i$
F1	1.034	1.199	2.233	-0.165
F2	1.245	1.477	2.722	-0.232
F3	1.137	1.110	2.247	0.027
F4	1.162	1.520	2.683	-0.358
F5	1.142	1.391	2.533	-0.249
F6	1.388	1.474	2.862	-0.086
F7	1.186	1.356	2.541	-0.170
F8	1.293	1.825	3.118	-0.532
F9	1.324	1.640	2.965	-0.316
F10	1.311	1.206	2.516	0.105
F11	1.320	1.776	3.096	-0.457
F12	1.344	1.717	3.061	-0.373
F13	1.414	1.409	2.823	0.004
F14	1.288	1.740	3.029	-0.452
F15	1.328	1.758	3.086	-0.431
F16	1.249	1.800	3.049	-0.552
F17	1.273	1.839	3.112	-0.566
F18	1.398	1.975	3.373	-0.577

Współczynnik *F18* - *Efektywność ponoszonych kosztów*, który jest wyznaczony jako stosunek kosztów poniesionych na flotę pojazdów do kosztów poniesionych na zrealizowane zlecenia ma największą wartość wskaźnika pozycji $r_i + c_i$. Oznacza to, że jest on w najsilniejszy sposób związany z pozostałymi współczynnikami. Najmniejszą wartość wskaźnika pozycji posiada parametr *F1* - *Stopień realizacji przewozów*, wyznaczony jako stosunek zrealizowanych do planowanych przewozów.

Wskaźnik relacji $r_i - c_i$ umożliwia określenie poziomu wpływu badanego parametru na pozostałe parametry. Wysoka wartość tego wskaźnika jest równoznaczna z wysokim priorytetem badanego parametru wśród innych parametrów.

Parametr *F10* - *Realizacja ilościowa planu przewozowego*, wyznaczony jako stosunek liczby zrealizowanych zleceń do liczby niezrealizowanych zleceń, posiada największą, dodatnią wartość wskaźnika relacji. Tym samym parametr ten ma decydujący wpływ na inne współczynniki, a także jest najważniejszy wśród wszystkich 18 parametrów opracowanych dla firm operujących flotą pojazdów. Z drugiej strony współczynnik *F18* - *Efektywność ponoszonych kosztów*, posiada największą ujemną wartość wskaźnika relacji. Tym samym *F18* jest największym odbiorcą wpływów wywieranych przez pozostałe współczynniki.

PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano analizę zestawu 18 współczynników KPI opracowanych dla firm posiadających i zarządzających flotą pojazdów. W analizie wykorzystano metodologię DEMATEL rozbudowaną o logikę rozmytą. Po zdefiniowaniu macierzy lingwistycznej oceny wzajemnego wpływu wskaźników zbudowano macierz rozmytą całkowitego wpływu \tilde{T} , a także określono rozmyte i wyostrzone wskaźniki pozycji i relacji dla 18 parametrów KPI. Ustalono parametry mające największy i najmniejszy wpływ brutto i netto.

BIBLIOGRAFIA

- Bin O., A logit analysis of vehicle emissions using inspection and maintenance testing data, „*Transportation Research Part D: Transport and Environment*” 2003, nr 8 (3), 215–227.
- Christensen P., Elvik R., Effects on accidents of periodic motor vehicle inspection on Norway, „*Accident Analysis & Prevention*” 2007, nr 39 (1), 47–52.
- Haghani A., Shafahi Y., Bus maintenance systems and maintenance scheduling: Model formulations and solutions, „*Transportation Research Part A: Policy and Practice*” 2002, nr 36, 453–482.
- Mobley R.K., Higgins L.R., Wikoff, D. J., *Maintenance engineering handbook*, The McGraw-Hill Companies, New York, 2008.
- Torbacki W., Torbacka M., KPI w systemach informatycznych dla branży logistycznej, „*TTS Technika Transportu Szynowego*”, 2015, nr 12, 1570-1574.
- Gabus A., Fontela E., *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*, Battelle Geneva Research Center, Geneva 1972.
- Torbacki W., Identyfikacja i ocena decyzji strategicznych w logistyce przy wykorzystaniu metody DEMATEL, „*Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*” 2016, nr 12, 1884-1887.
- Wu W. W., Lee Y. T., Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method, „*Expert Systems with Applications*” 2007, nr 32(2), 499–507.
- Zadeh L. A., Fuzzy sets, „*Information and Control*” 1965, nr 8, 338-353.

Evaluation of exploitation factors in fleet vehicles management using fuzzy logic

This article describes issues related to exploitation indicators in fleet management, DEMATEL methodology and fuzzy logic. An integration of both methods was also proposed, which was used to evaluate the KPI factors. This article can be useful to people from the transport industry who are interested in modern issues in fleet vehicles management.

Autor:

dr inż. **Witold Torbacki** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu, Zakład Metod Komputerowych, 70-507 Szczecin, ul. H. Pobożnego 11, w.torbacki@am.szczecin.pl