



Ocena bezpieczeństwa działania systemu transportowego na podstawie analizy uszkodzeń autobusów

MACIEJ WOROPAY, PIOTR BOJAR

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu,
85-796 Bydgoszcz, ul. prof. S. Kaliskiego 7

Streszczenie. Systemy transportowe są systemami socjotechnicznymi, w których bezpośrednią realizacją zadań zajmuje się podsystem wykonawczy złożony z podsystemów elementarnych typu człowiek–obiekt techniczny (operator–środek transportu) realizujących zadania w otoczeniu systemu. Ze względu na człowieka umiejscowionego w systemie transportowym najistotniejszym kryterium w ocenie realizowanych przewozów jest ich bezpieczeństwo.

Na poziom bezpieczeństwa realizacji zadań wpływają zagrożenia wynikające z oddziaływania czynników wymuszających, oddziałujących na elementarny podsystem wykonawczy.

Czynniki te można podzielić na [8]: robocze, zewnętrzne i antropotechniczne.

Ze względu na złożoność analizowanych systemów w pracy podjęto próbę oceny wpływu oddziaływań czynników wymuszających na bezpieczeństwo działania tego systemu.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo działania, transport miejski, zagrożenie

Symbol UKD: 656

1. Wprowadzenie

Zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa w systemie osobowego transportu miejskiego, stanowiącego ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem się osób, jest problemem nadrzędnym. Problem ten wynika z dużej liczby osób przewożonych środkami transportu, dużego natężenia ruchu oraz niewłaściwej infrastruktury dróg, po których realizowane są zadania przewozowe.

Szczególnie dotyczy to autobusów eksploatowanych w rozpatrywanym systemie, ponieważ są one narażone na oddziaływania różnorodnych czynników

wymuszających powodujących niekorzystne zmiany ich stanów, których efektem są uszkodzenia autobusów.

Z tego powodu w pracy podjęto próbę oceny wpływu uszkodzeń autobusów na powstawanie zdarzeń drogowych.

Na podstawie analizy literatury z zakresu bezpieczeństwa systemów można wyróżnić trzy podstawowe pojęcia dotyczące bezpieczeństwa [1, 2, 3]:

- **bezpieczeństwo systemu** definiowane jako jego *stan, w którym nie występują zagrożenia*, przyjmując, że *zagrożenie to zdarzenie, którego skutkiem są straty*;
- **bezpieczność systemu** definiowana jako jego *cecha umożliwiająca spełnianie kryteriów z punktu widzenia bezpieczeństwa*;
- **bezpieczeństwo ruchu drogowego** definiowane jako stan osiągnięty w wyniku podejmowanych działań i środków ekonomicznych, prawnych i inżynierskich, umożliwiających wyeliminowanie lub ograniczenie zagrożeń w ruchu drogowym.

Analizowany system transportu autobusowego jest przykładem systemu socjotechnicznego typu Człowiek–Obiekt Techniczny–Otoczenie <C–OT–O>, w którym bezpośrednią realizacją zadań systemu zajmuje się podsystem wykonawczy złożony z podsystemów elementarnych typu człowiek–obiekt techniczny (operator–środek transportu) realizujących zadania w otoczeniu systemu.

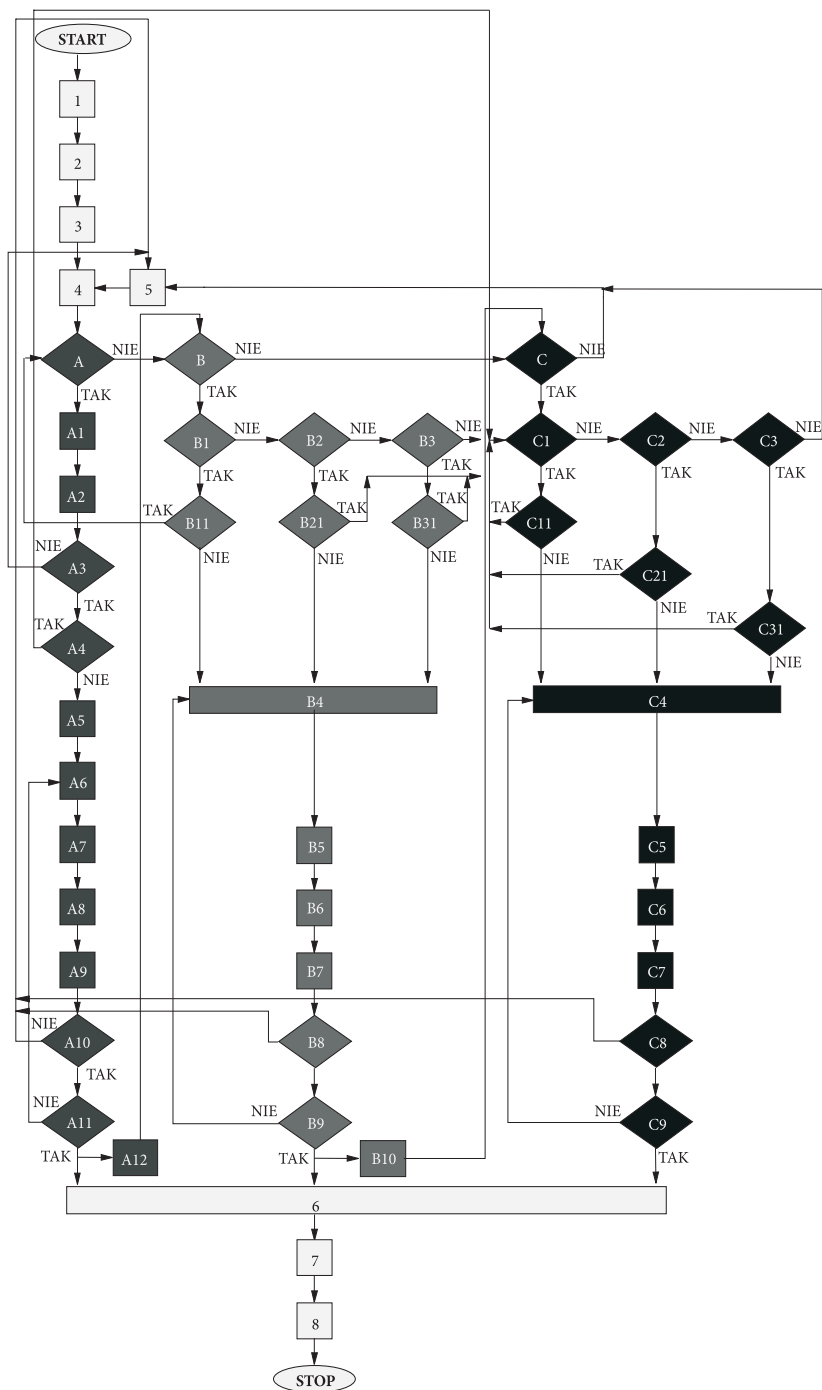
Ze względu na człowieka umiejscowionego w tym systemie najistotniejszym kryterium w ocenie realizowanych przewozów jest bezpieczeństwo ich działania.

Działanie jest pojęciem odnoszącym się do człowieka, *działanie oznacza ludzkie zachowanie (zewnętrzny lub wewnętrzny czyn), jeśli i o ile działający, bądź wielu działających, wiąże z nim pewien subiektywny sens.*

Działanie jest definiowane również jako aktywność człowieka, w której odgrywa on rolę czynnego podmiotu [5]. Według autora pracy [6] wyróżnia się cztery typy działań:

- **działania racjonalne ze względu na cel**, w których działający kieruje się racjonalnością instrumentalną: ze zbioru wartości podmiot wybiera cele i przy uwzględnieniu alternatywnych kosztów i korzyści dobiera odpowiednie środki,
- **działania racjonalne ze względu na wartości**, w odróżnieniu od powyższych, działający podmiot nie kieruje się kalkulacją następstw działania (w myśl zasady „cel uświęca środki”),
- **działania afektywne**, odpowiadające aktualnym stanom uczuciowym,
- **działania tradycyjne**, opierające się na nawyku.

Funkcjonowanie natomiast jest pojęciem odnoszącym się do maszyn (obiektów technicznych). Analizując systemy socjotechniczne C–OT–O, można mówić o działaniu tych systemów ze względu na zróżnicowaną rolę, jaką pełni człowiek w tego typu systemach.



Rys. 1. Algorytm oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego

Na tej podstawie w pracy przyjęto definicję **bezpieczeństwa działania systemu transportowego** o następującym brzmieniu: *bezpieczeństwo działania systemu transportowego jest to jego stan, w którym wartości wyróżnionych cech, opisujących ten system w ustalonej chwili czasu t , $t \in \langle t_0; t_k \rangle$, mieszczą się w ustalonych granicach przy określonych poziomach oddziaływań czynników wymuszających.*

Oddziaływania czynników wymuszających (robotycznych, zewnętrznych, antropotechnicznych) są zjawiskami losowymi i mogą występować pojedynczo lub łącznie.

W pracy zaproponowano metodę przydatną do diagnozowania i oceny stanu bezpieczeństwa działania systemu transportowego. Metodę tę przedstawiono na rysunku 1 w postaci algorytmu.

W algorytmie tym wyróżnić można trzy zasadnicze człony będące algorytmami składowymi: A, B i C dotyczące kolejno:

- **algorytm A** — dotyczący oceny bezpieczeństwa działania środków transportu,
- **algorytm B** — dotyczący oceny oddziaływania otoczenia systemu na bezpieczeństwo działania tego systemu,
- **algorytm C** — dotyczący oceny oddziaływania ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu na bezpieczeństwo działania tego systemu.

Poszczególne algorytmy składowe A, B i C wyznaczają sposób kompleksowej oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego. W tabeli 1 przedstawiono opis poszczególnych bloków algorytmu.

TABELA 1

Opis bloków ogólnych algorytmu oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego

Kod bloku	Opis kodu
1	Wyznacz zbiór zdarzeń drogowych zaistniałych w analizowanym przedziale czasu Z_i ; $i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$.
2	Wybierz zdarzenia istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.
3	Uszereguj zdarzenia według daty zajścia $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_k$.
4	Wybierz do oceny pierwsze zdarzenie Z_i , $i = 1$.
5	Wybierz do oceny kolejne zdarzenie drogowe $Z_i + 1$.
A	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było uszkodzenie podsystemu środka transportu?
A1	Ustal kryteria oceny istotności uszkodzonego podsystemu.
A2	Dokonaj oceny istotności uszkodzonego podsystemu.
A3	Czy uszkodzony podsystem jest istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa działania środka transportu?

cd. tabeli 1

A4	Czy uszkodzenie podsystemu istotnego miało wpływ na niewłaściwe działania operatora?
A5	Oceń poziom zmian stanu zdadności środka transportu jako skutku uszkodzenia analizowanego podsystemu.
A6	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A7	Ustal kryteria oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A8	Wyznacz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A9	Dokonaj oceny bezpieczeństwa działania środka transportu.
A10	Czy analizowane zdarzenie $Z_i = Z_k$, gdzie $i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$?
A11	Czy model wynikowy jest adekwatny?
A12	Sprawdź, czy zaszło również zdarzenie B.
B	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było oddziaływanie otoczenia?
B1	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia był niewłaściwy stan nawierzchni jezdni?
B11	Czy niewłaściwy stan nawierzchni jezdni był przyczyną uszkodzenia środka transportu?
B2	Czy przyczyną zajścia zdarzenia była niewłaściwa infrastruktura drogi?
B21	Czy niewłaściwa infrastruktura drogi była przyczyną niewłaściwych działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu?
B3	Czy przyczyną zajścia zdarzenia było oddziaływanie czynników atmosferycznych?
B31	Czy oddziaływanie czynników atmosferycznych było przyczyną niewłaściwych działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu?
B4	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B5	Ustal kryteria oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B6	Wyznacz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B7	Dokonaj oceny bezpiecznego oddziaływania otoczenia na ludzi i środki transportu.
B8	Czy analizowane zdarzenie $Z_i = Z_k$, gdzie $i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$?
B9	Czy model wynikowy jest adekwatny?
B10	Sprawdź, czy zaszło również zdarzenie C.
C	Czy przyczyną zajścia analizowanego zdarzenia było oddziaływanie ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu?
C1	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania kierowcy?
C11	Czy niewłaściwe działania kierowcy były przyczyną uszkodzenia podsystemu środka transportu?

cd. tabeli 1

C2	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania pasażerów środka transportu?
C21	Czy niewłaściwe działania pasażerów miały wpływ na błędne działania kierowcy?
C3	Czy przyczyną zajścia zdarzenia były niewłaściwe działania ludzi usytuowanych w otoczeniu środka transportu?
C31	Czy niewłaściwe działania ludzi usytuowanych w otoczeniu środka transportu miały wpływ na błędne działania kierowcy?
C4	Wyznacz zbiór wskaźników do oceny niepożądanych oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C5	Ustal kryteria oceny bezpiecznych oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C6	Wybierz zbiór wskaźników reprezentatywnych do oceny oddziaływań ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C7	Dokonaj oceny bezpiecznego oddziaływania ludzi usytuowanych w środku transportu i jego otoczeniu.
C8	Czy analizowane zdarzenie $Z_i = Z_k$, gdzie $i = \{1, 2, \dots, k\}$?
C9	Czy model wynikowy jest adekwatny?
6	Dokonaj zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego.
7	Dokonaj oceny kosztów wynikających z zaistniałych zdarzeń niepożądanych.
8	Pokaż wynik.

2. Obiekt i przedmiot badań

Obiektem badań jest system komunikacji miejskiej, a w szczególności autobusy eksploatowane w tym systemie

Przedmiotem badań są relacje zachodzące pomiędzy stanami ograniczonej zdolności autobusów a bezpieczeństwem działania systemu komunikacji miejskiej.

3. Cel pracy

Ze względu na wysoki udział procentowy stanu ograniczonej zdolności autobusów w zbiorze stanów niepożądanych jako cel pracy przyjęto: opracowanie metody umożliwiającej ocenę wpływu uszkodzeń obiektów technicznych eksploatowanych w systemie transportowym na bezpieczeństwo tego systemu.

Stanowi to punkt wyjścia do podjęcia racjonalnych działań zwiększających bezpieczeństwo działania systemów transportowych.

4. Program badań eksploatacyjnych

Na podstawie celu pracy zaprojektowano program badań eksploatacyjnych, które zrealizowano w rzeczywistym systemie transportowym — Zakładzie Komunikacji Autobusowej w dużej aglomeracji miejskiej.

Program badań eksploatacyjnych obejmował następujące etapy realizacji eksperymentu:

- pozyskanie danych dotyczących przebiegów kilometrowych autobusów realizujących zadania przewozowe w analizowanym przedziale czasu,
- ustalenie liczby uszkodzeń podsystemów autobusów,
- pozyskanie danych dotyczących liczby kolizji i wypadków drogowych zaistniałych na skutek stanu ograniczonej zdolności autobusów w analizowanym przedziale czasu,
- pozyskanie danych dotyczących liczby osób zabitych i rannych w wyniku zaistniałych zdarzeń niepożądanych w analizowanym przedziale czasu.

5. Przykładowe wyniki badań eksploatacyjnych

Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych uzyskano dane dotyczące przebiegów kilometrowych badanej grupy autobusów realizujących zadania przewozowe w ZKA — wybrane wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Sumaryczne przebiegi badanej grupy autobusów według miesięcy w analizowanym przedziale czasu od 01.01.2002 r. do 31.12.2004 r.

	2002	2003	2004
	Przebiegi [km]		
I	1.248.679	1.245.592	1.219.799
II	1.230.178	1.122.958	1.120.784
III	1.232.228	1.214.765	1.223.440
IV	1.200.374	1.201.250	1.174.069
V	1.206.401	1.209.488	1.191.277
VI	1.187.657	1.121.839	1.176.374
VII	1.177.838	1.189.464	1.108.037
VIII	1.277.967	1.106.750	1.183.984
IX	1.224.310	1.186.822	1.180.703

cd. tabeli 2

X	1.279.969	1.236.587	1.220.369
XI	1.184.828	1.159.717	1.193.721
XII	1.197.542	1.179.448	1.233.720

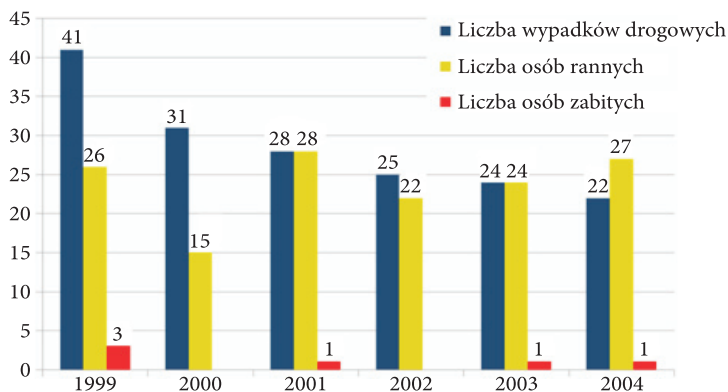
Kolejnym etapem prowadzonych badań eksploatacyjnych było pozyskanie danych dotyczących liczby uszkodzeń podsystemów autobusów – przykładowe wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Przykładowe liczby uszkodzeń wybranych podsystemów analizowanego obiektu badań

Nazwa uszkodzonego podsystemu	Data uszkodzenia					
	01.2004	02.2004	03.2004	04.2004	05.2004	06.2004
Układ kierowniczy	14	15	17	16	13	14
Układ zwrotniczy	0	0	2	2	0	1
Układ wspomagania	18	12	13	12	10	6
Podsystem kierowniczy	32	27	32	30	23	21
Układ zasilania spr. Pow.	197	146	217	230	340	277
Układ sterujący	78	79	74	76	67	70
Układ wykonawczy	52	66	55	47	54	47
Układ wspomagania hamulców	0	12	7	7	11	5
Podsystem hamulcowy	327	303	353	359	472	399
Elementy pneumatyczne	44	43	51	59	92	47
Elementy tłumiące	2	2	5	5	0	0
Elementy stabilizujące	1	0	2	0	0	0
Podsystem zawieszenia	47	45	57	64	92	47

Jak wynika z przedstawionego rysunku w dwóch pierwszych latach prowadzenia badań liczba osób rannych na skutek zaistniałych wypadków była mniejsza od liczby wypadków. Sytuacja odwrotna ma miejsce od roku 2001, ponadto można zauważyć, że na przestrzeni lat pomimo dwukrotnego spadku liczby wypadków drogowych w roku 2004 w porównaniu do roku 1999 liczba osób rannych w wyniku tych wypadków utrzymała się prawie na tym samym poziomie.



Rys. 2. Liczba wypadków drogowych zaistniałych na skutek niezdatności środka transportu oraz liczba osób zabitych i rannych w tych wypadkach w analizowanym przedziale czasu

Oceniając tę sytuację za pomocą wskaźnika liczby osób rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych, daje to dwukrotny wzrost tego wskaźnika w roku 2004 i wynosi on 1,22 w porównaniu z rokiem 1999, w którym wartość wskaźnika wynosiła 0,63.

6. Budowa modelu oceny bezpieczeństwa działania środków transportu miejskiego na podstawie analizy ich uszkodzeń

W pracy dokonano analizy zależności oraz przydatności (do oceny bezpieczeństwa działania środków transportu) wskaźników, następnie na podstawie wyników zrealizowanych badań eksploatacyjnych wybrano ostatecznie zbiór wskaźników reprezentacyjnych stanowiących model wynikowy oceny bezpieczeństwa działania środków transportu.

$$W_R = \{W_{1-8.1}, W_{1-8.2}, W_{1-9.1}, W_{1-9.2}, W_{1-10}, W_{1-11}, W_{1-13}\}. \quad (1)$$

1. Liczba osób zabitych przypadająca na 10 wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu:

$$W_{1-8.1} = \frac{LO_1}{LZ_1} \cdot 10, \quad (2)$$

LO_1 — liczba osób zabitych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych,
 LZ_1 — liczba wypadków drogowych.

2. Liczba osób rannych przypadająca na 10 wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu:

$$W_{1-8.2} = \frac{LO_2}{LZ_1} \cdot 10, \quad (3)$$

LO_2 — liczba osób rannych w wyniku zaistniałych wypadków drogowych,
 LZ_1 — liczba wypadków drogowych.

3. Liczba wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu przypadająca na 10 000 przejechanych kilometrów:

$$W_{1-9.1} = \frac{LZ_1}{LP} \cdot 10^4, \quad (4)$$

LZ_1 — liczba wypadków drogowych,
 LP — liczba przejechanych kilometrów przez badany autobus.

4. Liczba kolizji drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu, przypadająca na 10 000 przejechanych kilometrów:

$$W_{1-9.2} = \frac{LZ_2}{LP} \cdot 10^4, \quad (5)$$

LZ_2 — liczba kolizji drogowych,
 LP — liczba przejechanych kilometrów przez badany autobus.

5. Liczba uszkodzeń podsystemów istotnych przypadająca na 10 000 przejechanych kilometrów:

$$W_{1-10} = \frac{LU_{PI}}{LP} \cdot 10^4, \quad (6)$$

LU_{PI} — liczba uszkodzeń podsystemów istotnych autobusu,
 LP — liczba przejechanych kilometrów w analizowanym przedziale czasu.

6. Liczba wypadków drogowych wynikających ze stanu ograniczonej zdatności środka transportu przypadająca na 100 uszkodzeń podsystemów istotnych

$$W_{1-11} = \frac{LZ_1}{LU_{PI}} \cdot 100, \quad (7)$$

LZ_1 — liczba zdarzeń drogowych i -tego rodzaju,
 LU_{PI} — liczba uszkodzeń k -tego podsystemu OT.

7. Wskaźnik oceny poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi usytuowanych w środku transportu:

$$W_{1-13} = \frac{LU_z}{LZ} \cdot O, \quad (8)$$

O — ocena zagrożenia, jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu autobusu (1-10),

gdzie: 1 — oznacza podsystem nieistotny, którego uszkodzenie nie stwarza zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu;

10 — oznacza podsystem istotny, którego uszkodzenia powodują niepożądany stan zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu i stanowią przyczynę wypadku drogowego;

LU_z — liczba uszkodzeń i -tego podsystemu inicjujących zdarzenia niepożądane;

LZ — liczba wszystkich zdarzeń niepożądanych.

TABELA 4

Przykładowe wartości wskaźników oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego

	Liczba kolizji drogowych	Liczba wypadków drogowych	Liczba osób rannych	Liczba osób zabitych
I	10	4	2	0
II	7	4	2	1
III	7	3	2	0
IV	6	3	1	0
V	7	1	3	0
VI	6	5	3	0
VII	6	3	4	0
VIII	6	3	1	2
IX	7	4	2	0

W opracowanym modelu wynikowym pożądaną wartością każdego z przyjętych do oceny wskaźników jest ich wartość minimalna.

Stopień niespełnienia stanu bezpieczeństwa z punktu widzenia i -tego wskaźnika opisano zależnością (9).

$$v_i = \log_2 \left(\frac{P_{iv} - P_{i \min}}{P_{i \max} - P_{i \min}} \cdot 64 \right), \quad i = 1, 2, \dots, 7, \quad (9)$$

gdzie: v_i — wartość funkcji i -tego wskaźnika;
 $P_{i \max}$ — wartość maksymalna i -tego wskaźnika;
 $P_{i \min}$ — wartość minimalna i -tego wskaźnika;
 P_{iv} — argument funkcji i -tego wskaźnika;
 i — kod analizowanego wskaźnika.

Stopień spełnienia (kryterium) stanu bezpieczeństwa przez środki transportu z punktu widzenia i -tego wskaźnika opisano zależnością (10)

$$g_i = 10 - v_i. \quad (10)$$

Zgodnie z metodyką analizy wielokryterialnej AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [4] przyjmuje się następującą skalę opisującą stopień spełnienia stanu bezpieczeństwa (od 4 do 10), gdzie:

$g = 4$ — oznacza, że nie został osiągnięty stan bezpieczeństwa (stan niebezpieczny),

$g = 10$ — oznacza, że został osiągnięty stan bezpieczeństwa.

Metoda AHP polega na porównaniu poszczególnych wskaźników między sobą, co można przedstawić w postaci macierzowej.

$$q = \begin{bmatrix} 0 & q_{1,2} & \dots & q_{1,n} \\ 0 & 0 & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & q_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

TABELA 5

Preferencje wariantu wraz z wartościami liczbowymi

Porównanie wariantu a w stosunku b	Względna jakość wariantu a w stosunku do b	Przypisywana wartość q_{ab}
a dużo lepszy niż b	Mocna preferencja a	6
a lepszy niż b	Preferencja a	4
a trochę lepszy niż b	Słaba preferencja a	2
a równie dobry jak b	Brak preferencji	0
a trochę gorszy niż b	Słaba preferencja b	-2
a gorszy niż b	Preferencja b	-4
a dużo gorszy niż b	Mocna preferencja b	-6

TABELA 6

Macierz porównań wskaźników oceny bezpiecznego działania systemu

	W1-8.1	W1-8.2	W1-9.1	W1-9.2	W1-10	W1-11	W1-13
W1-8.1	0	2	6	8	4	2	6
W1-8.2		0	8	6	4	2	6
W1-9.1			0	2	-4	-6	-2
W1-9.2				0	-4	-6	-2
W1-10					0	-2	2
W1-11						0	4
W1-13							0

Na podstawie przypisanych wartości preferencji q_{jk} pomiędzy wskaźnikami o numerach j i k wyznacza się dodatkową zmienną według wzoru (12).

$$i = 1, 2, \dots, 7,$$

$$w_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} q_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, 7, \quad (12)$$

$$k = 1, 2, \dots, 7.$$

Po wyliczeniu zmiennej dodatkowej w_i (14) wartość wagi określa się, stosując zależność (13) [4].

$$c_i = \frac{(\sqrt{2})^{w_i}}{\sum_{i=1}^{n_i} (\sqrt{2})^{w_i}}. \quad (13)$$

Ocenę wynikową spełnienia stanu bezpieczeństwa obliczono według zależności (14)

$$s = \sum_{i=1}^7 c_i g_i. \quad (14)$$

Ocena całkowita metody *AHP* umożliwia słowną interpretację wartości wynikowej.

TABELA 7

Interpretacja słowna wartości oceny wynikowej [53]

Całkowita ocena wariantu s	Interpretacja stanu
10	Idealny
9	Bardzo dobry
8	Dobry
7	Dostateczny
6	Dopuszczalny
5	Zły
4	Bardzo zły

TABELA 8

Wyniki wielokryterialnej analizy AHP

Lp.	Nazwa kryterium	Typ kryterium	Możliwa wartość najmniejsza (stan bezpieczeństwa)	Możliwa wartość największa (stan niebezpieczeństwa)	Wartość wagi
1	W1-8.1	MINSIMP	0	250	0,65808
2	W1-8.2	MINSIMP	0	70	0,29802
3	W1-9.1	MINSIMP	8	140	0,00002
4	W1-9.2	MINSIMP	108	352	0,00001
5	W1-10	MINSIMP	2225	5830	0,00257
6	W1-11	MINSIMP	150	3430	0,4113
7	W1-13	MINSIMP	74	263	0,00016

TABELA 9

Przykładowe wyniki analizy wielokryterialnej oceny bezpieczeństwa działania analizowanego systemu

Kolejne miesiące badań	Wynik AHP	Kolejne miesiące badań	Wynik AHP
1	8,99366	13	9,0339
2	6,33741	14	8,91822
3	9,15909	15	9,37752
4	9,53894	16	8,63166
5	8,54265	17	8,19668

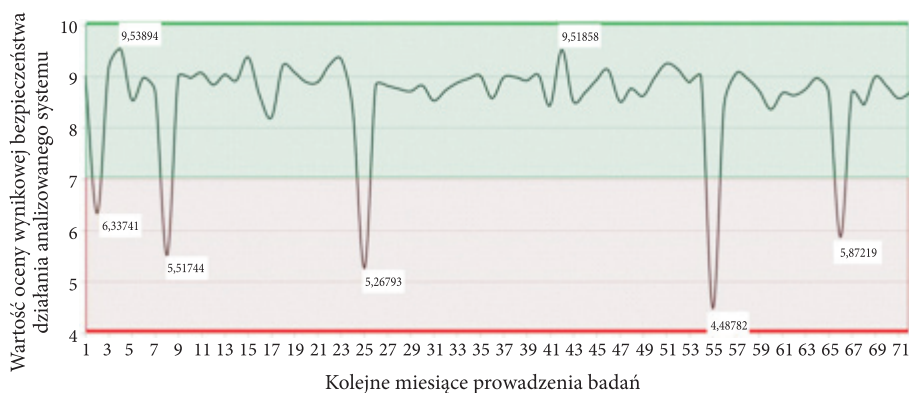
cd. tabeli 9

6	8,98289	18	9,21165
7	8,70401	19	9,07358
8	5,51744	20	8,8896
9	8,99438	21	8,89127
10	8,96675	22	9,22312
11	9,06912	23	9,33781
12	8,83572	24	8,38279

TABELA 10

Założenia do oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego

$s = 4$	–	oznacza stan niebezpiecznego działania systemu (stan katastroficzny)
$s (4-7)$	–	zakres niedopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów zagrożeniowych)
$s (7-10)$	–	zakres dopuszczalnych zmian stanu bezpieczeństwa działania systemu (zbiór stanów bezpieczeństwa)
$s = 10$	–	oznacza stan bezpiecznego działania systemu (stan intencjonalny)



Rys. 3. Przebieg zmian zbiorczej oceny bezpieczeństwa działania systemu miejskiej komunikacji autobusowej w analizowanym przedziale czasu od 01.01.1999 r. do 31.12.2004 r.

7. Wnioski

1. Zaproponowana w pracy metoda stanowi podstawę do oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego w sposób kompleksowy z uwzględnieniem oddziaływania wszystkich czynników wymuszających. Składowe części

- opracowanego algorytmu stanowią podstawę do opracowania odrębnych metod oceny wpływu oddziaływań poszczególnych czynników wymuszających mających wpływ na poziom bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.
2. Z analizy wyników badań eksploatacyjnych zrealizowanych w systemie transportu drogowego wynika, że stany ograniczonej zdadności środków transportu eksploatowanych w tym systemie stanowią przyczynę powstawania zdarzeń niepożądanych w około 30% przypadków.
 3. Na podstawie wyników zrealizowanych badań eksploatacyjnych wyznaczono istotność poszczególnych podsystemów analizowanych środków transportu. Dowiedziono, że podsystemem najistotniejszym, którego uszkodzenia mają największy wpływ na powstawanie zdarzeń niepożądanych (około 24%), jest podsystem hamulcowy. Natomiast podsystemami najmniej istotnymi, których łączny udział uszkodzeń stanowi w 27% przyczynę zdarzeń niepożądanych, są: silnik, podsystem przeniesienia napędu, nadwozie i podsystem elektryczny.
 4. Opracowana metoda oceny bezpieczeństwa działania systemu autobusowej komunikacji miejskiej jest uniwersalna i może być zastosowana do oceny bezpieczeństwa działania różnego typu systemów transportu drogowego.
 5. Zwiększanie poziomu bezpieczeństwa działania systemu transportowego można realizować poprzez zwiększenie niezawodności i trwałości podsystemów istotnych: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego i podsystemu zawieszenia
 6. Istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań eksploatacyjnych w celu dokonania kompleksowej oceny bezpieczeństwa działania systemu transportu miejskiego zawierającej również oceny oddziaływań człowieka i otoczenia.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.12.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] M. GERIGK, *Formalna metoda oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym na podstawie analizy przyczyn i skutków wypadków*, XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk, 2005.
- [2] Z. SMAŁKO, *Relacje między pojęciami bezpieczeństwa i bezpieczeństwa w układach technicznych*, Materiały Sympozjum Bezpieczeństwa w Transporcie Morskim, Gdynia, 2007.
- [3] S. SUCHODOLSKI, *Pojęcie i miary bezpieczeństwa w piśmiennictwie światowym*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Politechnika Warszawska, z. 2, 102, 1995.
- [4] F. A. LOOTSMA, *Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART*, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 2, 1993.
- [5] *Wielka Encyklopedia PWN*, PWN, Warszawa, 2001.
- [6] M. WEBER, *Gospodarka i społeczeństwo: zarys socjologii rozumiejącej*, PWN, Warszawa, 2002.

M. WOROPAY, P. BOJAR

**Evaluation safety of road transport systems operation basing on buses
damage analysis**

Abstract. The transport systems are sociotechnical systems in which direct realization of tasks is dealt with an executive subsystem consisting of the elementary subsystems of a human — a technical object (an operator — a means of transport) type realizing the tasks within the system environment. In respect of people located within a transport system, the most significant criterion in the evaluation of the transports being realized is their safety.

The safety level of the task realization is influenced by the risks resulting from the interaction of the forcing factors, affecting an elementary executive subsystem.

These factors may be divided into [8]: working, external, antropotechnical.

Due to the complexity of the systems being analysed in the paper, it has been attempted to evaluate the influence of the forcing factors on the safety of this system operation.

Keywords: operational safety, municipal transport, threat

Universal Decimal Classification: 656

