

Maciej WOROPAY
Piotr BOJAR
Łukasz MUŚLEWSKI

OCENA ISTOTNOŚCI PODSYSTEMÓW ŚRODKA TRANSPORTU

W literaturze, z zakresu niezawodności maszyn wyróżnia się z reguły dwa stany; stan zdolności $\langle 1 \rangle$, oraz stan niezadatności $\langle 0 \rangle$. Natomiast z badań eksploatacyjnych wynika, że między tymi stanami można wyróżnić nieskończony zbiór stanów ograniczonej zdolności. Podczas analizy zmian tych stanów oraz zakresów poziomów ich zmian należy wziąć pod uwagę zarówno istotność podsystemów oraz jak daleko wartości cech tych podsystemów przekroczyły dopuszczalny przedział tolerancji.

W pracy podjęto próbę oceny istotności poszczególnych podsystemów środka transportu i wpływu ich uszkodzeń na zagrożenie bezpieczeństwa realizacji zadania przewozowego.

ASSESSMENT OF SIGNIFICANCE OF TRANSPORT MEANS SUBSYSTEMS

In literature, there are distinguished two kinds of states in terms of the machine reliability: fitness for use $\langle 1 \rangle$ and unfitness for use $\langle 0 \rangle$. Experimental tests, however, prove that between these states there exists an infinite set of states with limited fitness for use. While analyzing changes of these states and scopes of these changes, it is necessary to take into consideration both the subsystem significance and the degree to which values of the subsystem features have exceeded the allowed limits.

The authors of the paper have made an attempt to assess significance of the transport means particular subsystems and the influence of their damage on transport safety.

1. WSTĘP

Transport jako ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem osób i ładunków rzeczowych odgrywa ważną rolę w gospodarce każdego kraju, spełnia w państwie funkcję ekonomiczną oraz integracyjną pomiędzy obszarami zurbanizowanymi jak również na terenach aglomeracji miejskich.

Zaspokajanie potrzeb przewozowych na terenach zurbanizowanych odbywa się przy wykorzystaniu indywidualnych środków transportu, a także transportu zbiorowego. Drogowy transport zbiorowy w porównaniu z transportem indywidualnym cechuje wiele

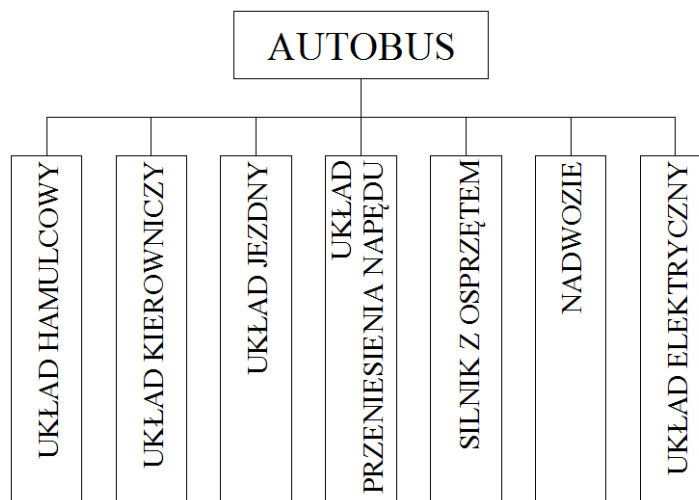
zalet, z których najważniejsze to: możliwość jednorazowego transportowania większej liczby osób, zmniejszenie natężenia ruchu pojazdów, zmniejszenie natężenia hałasu i emisji spalin do środowiska. Szczególnym rodzajem drogowego transportu zbiorowego jest transport miejski, obejmujący również tereny podmiejskie, znajdujące się poza granicami administracyjnymi miasta, lecz spełniające analogiczne funkcje jak dzielnice miasta.

Najpopularniejszą komunikacją w transporcie miejskim jest komunikacja autobusowa, w której do przewozów pasażerów wykorzystuje się istniejącą infrastrukturę drogową, bez konieczności budowania dodatkowych trakcji.

Pomimo zalet charakteryzujących komunikację autobusową jest ona źródłem różnego rodzaju zagrożeń, wynikających z oddziaływania czynników wymuszających (roboczych, zewnętrznych i antropotechnicznych).

2. OBIEKT I PRZEDMIOT BADAŃ

Obiektem badań są środki transportu eksploatowane w rzeczywistym systemie transportowym realizującym zadania przewozowe na terenie aglomeracji miejskiej o liczbie mieszkańców do 500 000 i terenach przyległych spełniających funkcje analogiczne do terenów rozpatrywanej aglomeracji. Na rysunku 1 przedstawiono dekompozycję analizowanego obiektu badań. W dekompozycji tej wyróżniono siedem głównych podsystemów autobusu.



Rys. 1. Dekompozycja obiektu badań na podstawowe podsystemy

3. ANALIZA PRZYCZYŃ POWSTAWANIA ZDARZEŃ NIEPOŻĄDANYCH W SYSTEMACH TRANSPORTU DROGOWEGO.

Poziom bezpieczeństwa działania systemu transportowego zależy od liczby zdarzeń niepożądanych (*kolizji i wypadków drogowych*) i ich skutków. Zdarzenia te są zjawiskami

złożonymi i mogą być skutkiem niewłaściwych oddziaływań czynników wymuszających [2, 3, 4, 5]: **roboczych** (*uwarunkowanych funkcjonowaniem pojazdu*), **zewnętrznych** (*wynikających z niewłaściwego oddziaływania otoczenia*) i **antropotechnicznych** (*będących wynikiem błędów kierowcy i ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu*).

Analizując przyczyny powstawania wypadków drogowych należy je traktować jako zdarzenia niezależne, mogące występować pojedynczo lub łącznie.

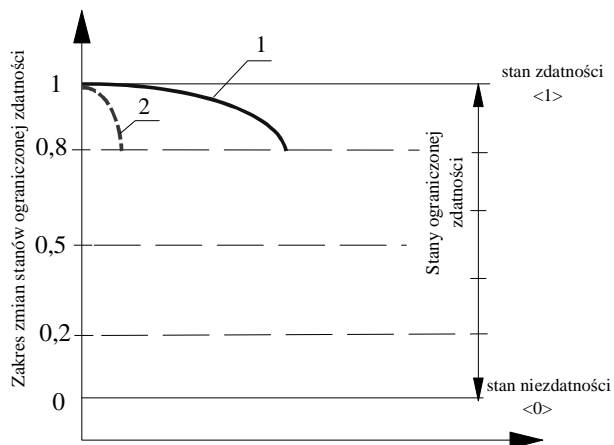
Podstawową przyczyną powodującą zagrożenia zdrowia i życia człowieka w systemach transportu drogowego jest stan ograniczonej zdatności pojazdu. W literaturze, z zakresu niezawodności maszyn wyróżnia się z reguły dwa stany; *stan zdatności* $\langle 1 \rangle$, oraz *stan niezdatności* $\langle 0 \rangle$. Natomiast z badań eksploatacyjnych wynika, że między tymi stanami można wyróżnić nieskończony zbiór stanów ograniczonej zdatności.

Przez stan ograniczonej zdatności systemu należy rozumieć taki stan w którym wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej wartości przez dowolną cechę elementu systemu, występującą w opisie stanu tego elementu, nie powodując niemożliwości realizacji zadania przez system.

Na rysunkach 2 ÷ 5 przedstawiono graficzną interpretację wpływu stanów ograniczonych zdatności wynikających z uszkodzeń podsystemów, o zróżnicowanej istotności na obniżenie poziomu zdatności. Jak widać na rysunkach, między stanem zdatności $\langle 1 \rangle$, a stanem niezdatności $\langle 0 \rangle$, istnieje nieskończony zbiór stanów ograniczonej zdatności.

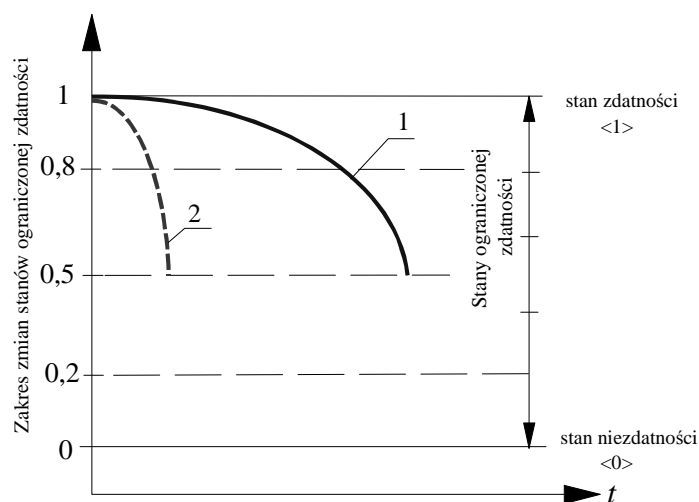
Podczas analizy zmian tych stanów oraz zakresów poziomów ich zmian należy wziąć pod uwagę zarówno **istotność podsystemów oraz jak daleko wartości cech tych podsystemów przekroczyły dopuszczalny przedział tolerancji**. Należy przy tym mieć na uwadze, że uszkodzenie podsystemu nieistotnego nie powoduje dużej różnicy zmiany stanu systemu od stanu zdatności, natomiast uszkodzenie podsystemu krytycznego, powoduje, z reguły, zmianę stanu zdatności systemu $\langle 1 \rangle$ na stan niezdatności $\langle 0 \rangle$ [1, 6, 7]. W zależności od rodzaju uszkodzenia podsystemu kształt krzywej odzwierciedlającej przebieg zmian stanów może być łagodny (krzywa 1) lub bardziej ostry (krzywa 2). Powyższe rozważania przedstawiono w czterech przypadkach:

P1 – uszkodzenie podsystemu nieistotnego powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie bezpiecznym $\langle 1 \div 0,8 \rangle$ charakteryzującym się brakiem wpływu na powstawanie zdarzeń drogowych – rysunek 2



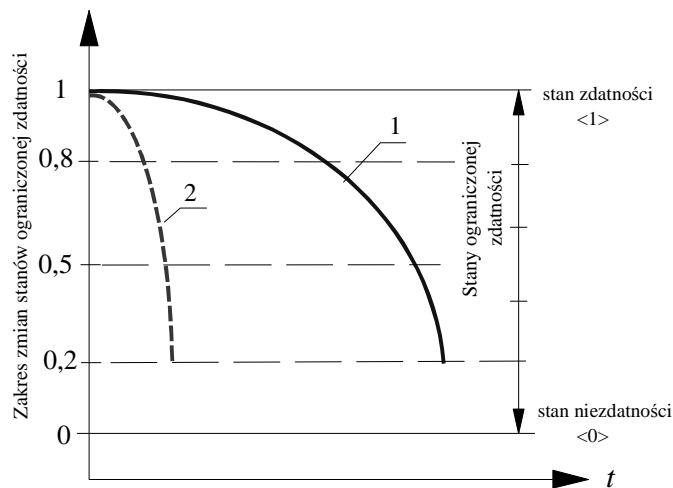
Rys. 2 Wpływ uszkodzeń podsystemów nieistotnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P2 – uszkodzenie podsystemu mało ważnego, powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie dopuszczalnym $\langle 1 \div 0,5 \rangle$ charakteryzującym się możliwością wywołania kolizji drogowych – rysunek 3



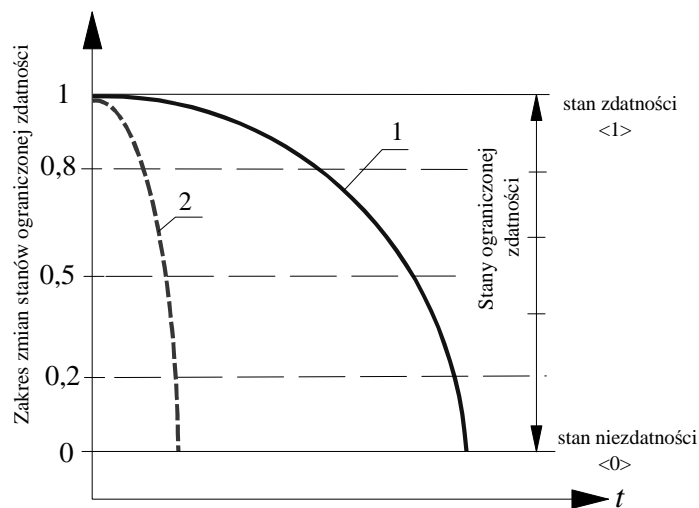
Rys. 3 Wpływ uszkodzeń podsystemów mało ważnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P3 – uszkodzenie podsystemu ważnego, powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie niebezpiecznym $\langle 1 \div 0,2 \rangle$ charakteryzującym się możliwością wywołania kolizji i wypadków drogowych oraz ofiar ludzkich – rysunek 4.



Rys. 4 Wpływ uszkodzeń podsystemów ważnych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

P4 – uszkodzenie podsystemu krytycznego powodujące zmianę stanu zdatności w zakresie niedopuszczalnym (katastroficznym) $\langle 1 \div 0 \rangle$ charakteryzującym się wywołaniem kolizji i wypadków drogowych oraz ofiar śmiertelnych – rysunek 5



Rys. 5 Wpływ uszkodzeń podsystemów krytycznych na zmianę stanu zdatności środka transportu.

W wyniku zrealizowanych badań własnych, w rzeczywistym systemie komunikacji autobusowej, wykonano badania ankietowe, mające na celu wyznaczenie istotności

podsystemów autobusów, badania te zrealizowane zostały wśród następujących grup ekspertów:

- a. decydenci sterowania ruchem autobusów,
- b. kierowcy autobusów,
- c. diagnosty zakładu komunikacji autobusowej,
- d. mechanicy zakładu komunikacji autobusowej.

Badane autobusy zdekomponowano na osiem podsystemów, które poddano ocenie wpływ ich uszkodzeń na zagrożenie bezpieczeństwa działania analizowanego systemu.

Istotność elementów oceniano w dziesięcino punktowej skali. Skalę ocen oraz opis oceny przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Opis oceny wpływu uszkodzenia podsystemu środka transportu na zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu komunikacji autobusowej

Skala ocen	Opis wpływu uszkodzenia danego podsystemu na zagrożenie bezpieczeństwa działania analizowanego systemu
1-2	uszkodzenie podsystemu nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu transportowego
3-5	uszkodzenie podsystemu raczej nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu transportowego
6-8	uszkodzenie podsystemu raczej powoduje zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu transportowego
9-10	uszkodzenie podsystemu powoduje zagrożenie bezpieczeństwa działania systemu transportowego

Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych przedstawiono w tabeli 2, w której uszeregowano zdekomponowane podsystemy autobusów według oceny stopnia zagrożenia jakie stwarzają ich uszkodzenia. W ten sposób wyznaczono najistotniejsze podsystemy ze względu na zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego. Są to podsystemy, których średnia wartość oceny jest równa lub większa od sześciu.

Tab. 2. Średnie wartości ocen zagrożenia jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu

Lp.	Nazwa uszkodzonego podsystemu	Średnia ocena zagrożeń
1	Podsystem hamulcowy	9,38
2	Podsystem kierowniczy	8,74
3	Podsystem jezdny	7,63
4	Podsystem zawieszenia	6,31
5	Podsystem przeniesienia napędu	5,45
6	Silnik z osprzętem	4,67
7	Elementy nadwozia	3,78
8	Podsystem elektryczny	2,27

Na podstawie powyższych danych wyznaczono wartości wskaźnika oceny poziomu zagrożenia bezpieczeństwa ludzi usytuowanych w systemie transportowym.

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

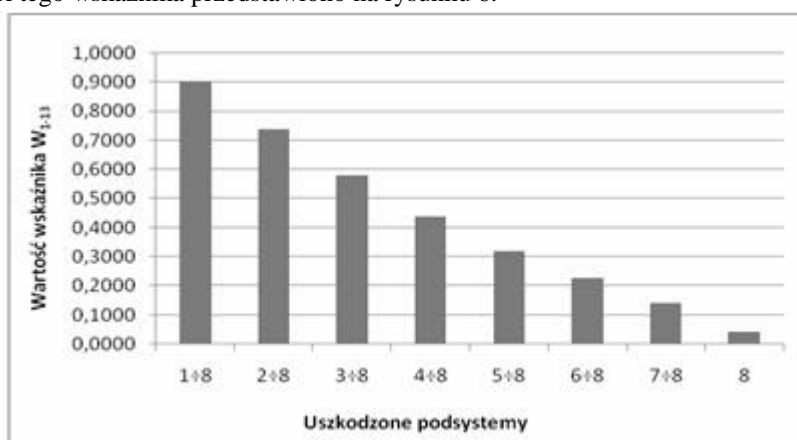
LU_z – liczba uszkodzeń i – tego podsystemu inicjujących zdarzenia niepożądane

LZ – liczba wszystkich zdarzeń niepożądanych

O – ocena zagrożenia jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu autobusu

(1÷10);

Wartości tego wskaźnika przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6 Zmiana wartości wskaźnika W_{1-13} w zależności od liczby uszkodzonych podsystemów [8]

- 1 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia wszystkich podsystemów,
- 2 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia siedmiu podsystemów (bez podsystemu hamulcowego),
- 3 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia sześciu podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego i kierowniczego),
- 4 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia pięciu podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego),
- 5 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia czterech podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego i zawieszenia),
- 6 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu przy uszkodzeniu trzech podsystemów (bez podsystemów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego, zawieszenia i przeniesienia napędu,),
- 7 ÷ 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia dwóch podsystemów: nadwozia i elektrycznego,

- 8 – wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu w przypadku uszkodzenia jednego podsystemu – elektrycznego.

Na podstawie badań własnych i analizy literatury dotyczącej bezpieczeństwa ruchu drogowego [3, 6] ustalono, że najistotniejszymi podsystemami środków transportu z punktu widzenia ich bezpieczeństwa działania są:

- podsystem hamulcowy,
- podsystem kierowniczy,
- podsystem jezdny,
- podsystem zawieszenia.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników zrealizowanych badań eksploatacyjnych wyznaczono istotność poszczególnych podsystemów analizowanych środków transportu. Dowiedziono, że podsystemem najistotniejszym którego uszkodzenie 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.

5. LITERATURA

- [1] PN-IEC 60300-3-9, 1999 *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Analiza ryzyka w systemach technicznych*
- [2] Praca zbiorowa pod redakcją Anieli GOŁĄBEK: *Niezawodność autobusów*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
- [3] SIERGIEJCZYK M.: *Zarys metody wykrywania czynników kształtujących bezpieczeństwo systemów transportowych*. Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa Systemów. Informator ITWL Kiekrz 1994.
- [4] SZPYTKO J., KOCERBA A.: *Wybrane aspekty bezpieczeństwa i niezawodności rozproszonych środków transportu*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Kraków – Radom 2008.
- [5] WICHER J.: *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Wydanie 2, Warszawa 2004 .
- [6] WINTER W., ŻÓŁTOWSKI B.: *Czynniki techniczne w ryzyku powstawania wypadków drogowych*. Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006
- [7] WOROPAY M., BOJAR P., WDZIĘCZNY A.: *Ocena wpływu uszkodzeń autobusów komunikacji miejskiej na bezpieczeństwo ludzi znajdujących się w systemie miejskiej komunikacji autobusowej*. Problemy jakościowe energetyczne i eksploatacyjne w maszynach cieplnych. Duszniki Zdrój 2006
- [8] WOROPAY M., BOJAR P., WDZIĘCZNY A., SZUBARTOWSKI M.: *Metoda oceny wpływu skuteczności realizowanych napraw na niezawodność i bezpieczeństwo działania systemów transportu miejskiego*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Bydgoszcz-Radom 2008