

УДК 629.341  
UDC 629.341

## USZKADZALNOŚĆ UKŁADÓW AUTOBUSÓW MERCEDES-BENZ CITARO A BEZPIECZEŃSTWO TRANSPORTU MIEJSKIEGO

MICHALSKI Jacek, Prof. Dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

## НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ АВТОБУСА MERCEDES-BENZ CITARO ПРОТИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСТАХ

МІХАЛЬСЬКІ Яцек, Професор, Доктор габілітований, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща

## RELIABILITY OF SYSTEMS IN MERCEDES-BENZ CITARO BUS VERSUS URBAN TRANSPORT SAFETY

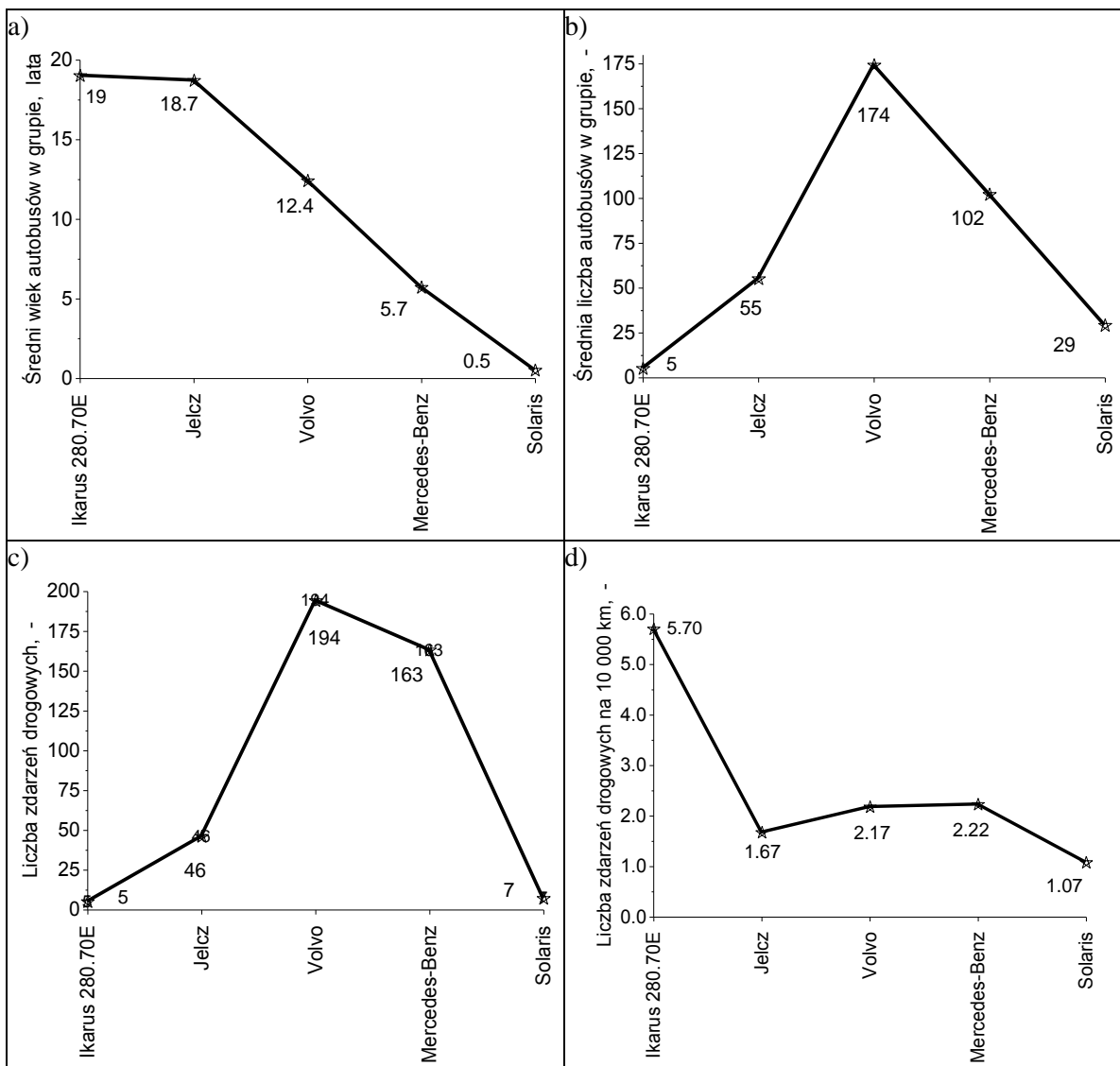
MICHALSKI Jacek, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

**Wstęp.** Przewozy realizowane autobusami stanowią w Polsce podstawę systemu komunikacji zbiorowej w większości miast, a także na trasach pomiędzy miejscowościami o mniejszej liczbie mieszkańców [33]. W Unii Europejskiej (UE) autobus jest zdecydowanie najbardziej bezpiecznym pojazdem drogowym. Udział ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych na terenie EU wynosił w 2014 roku: kierowcy i pasażerowie 55%, motocykliści 15% i rowerzyści 8%. Udział transportu drogowego w wypadkach śmiertelnych UE stanowił: samochodowy 46,4%, motocyklowy 17,7%, rowerowy 6,6%, tramwajowy 3,3%, natomiast autobusowym tylko 0,4%. Łącznie cały transport drogowy to aż 74,4% liczby wypadków śmiertelnych [2, 9]. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w 2014 roku, w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców, w Polsce to 84. Największy wskaźnik UE wystąpił na Łotwie, wynosił 106. Najważniejszymi przyczynami tego tragicznego stanu rzeczy w Polsce, według Najwyższej Izby Kontroli [18] są: niedostateczna infrastruktura drogowa i jej przystosowanie do przeniesienia coraz intensywniejszego ruchu samochodowego. Bezpieczeństwo na drogach ogranicza także: zła organizacja ruchu drogowego, brak powszechnego spójnego systemu oddziaływania na bezpieczeństwo w ruchu drogowym i niedostateczne finansowanie. Również zdaniem autorów monografii [8, 26], czynniki drogowe mają największy wpływ na bezpieczeństwo ruchu. Jamroz [12] stwierdza, iż liczba wypadków silnie liniowo zależy od parytetu siły nabywczej, liczby pojazdów oraz pracy przewozowej. Jak wykazano w publikacji [7] bezpieczeństwo ruchu drogowego jest uzależnione od wielu czynników, lecz najistotniejszym z nich jest człowiek.

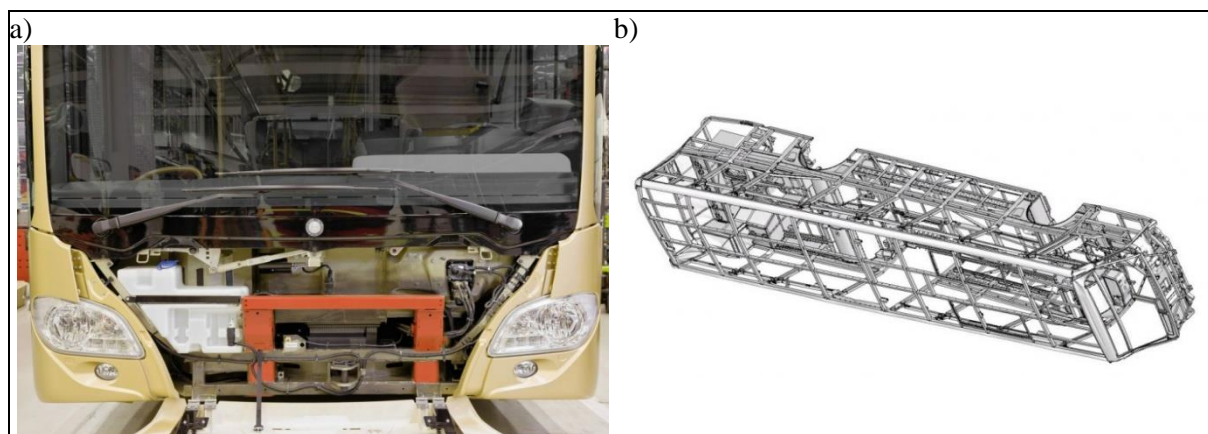
Z elementów technicznych pojazdu, istotna jest przede wszystkim konstrukcja pojazdu [1, 19, 22], jego właściwości dynamiczne i stan techniczno-eksploatacyjny, czyli bezpieczeństwo czynne i bezpieczeństwo bierne [17, 24]. Elementami kluczowymi autobusu ze względu na bezpieczeństwo jest układ podwozia i nadwozia [20]. Wymagania techniczne autobusów zawarte są w aktach prawnych i publikacjach [14, 21, 23]. Pojazd komunikacji zbiorowej będzie bezpieczny wtedy, gdy: zostanie zapewniona płynność ruchu takiego pojazdu, stan techniczny pojazdu będzie kontrolowany w sposób ciągły z uwzględnieniem prognozowania eksploatacyjnego, kierowcy autobusów będą posiadali odpowiednie kwalifikacje oraz będą przechodzili okresowe szkolenia specjalistyczne z zakresu bezpieczeństwa i techniki jazdy [20]. Współczesna sytuacja gospodarcza, silna konkurencja, rosnąca złożoność konstrukcji, skracanie cykli życia pojazdów oraz presja na ograniczanie kosztów powodują, że jakość także autobusów, kształtuje się poniżej oczekiwań nabywców [27]. Wpłynąć to może nie tylko na użyteczność czy komfort, ale także na straty materialne, zdrowie i życie. W artykule [6] przedstawiono analizę uszkodzeń układów bezpieczeństwa w transporcie pasażerów komunikacji miejskiej. W analizie uwzględniono układ hamulcowy, kierowniczy i zawieszenie, dla taboru pojazdów użytkowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie. Najwięcej awarii wystąpiło w układzie hamulcowym, kierowniczym i zawieszeniu, odpowiednio. Dane pozyskane z MPK w Lublinie, w okresie jednego roku, wskazują najmniejszą liczbę awarii w autobusach marki Mercedes Conecto 628G i Conecto 628LF [6]. Badaną grupą pojazdów stanowiły autobusy komunikacji miejskiej takie jak: Ikarus 260.26, Ikarus 280.26, Jelcz M11, Solaris Urbino 12, Mercedes-Benz 0405N, Mercedes Conecto 628 G i Mercedes Conecto 628 FL. Dane statystyczne wskazują iż rozwiązanie technologiczne i stanu techniczny autobusu ma wpływ na ryzyko wypadku [13]. Na bezpieczeństwo pasażerów autobusu największy wpływ wywiera początek hamowania, automatyczne

otwieranie drzwi oraz materiały i architektura wewnętrzna autobusów oraz układy wspomaganie hamowania [3]. W transporcie publicznym autobusowym, mniej wypadków ma miejsce w przypadku podziału trasy na krótsze odcinki drogi oraz przydzieleniu autobusów krótszych (12 m lub mniejszych) i nowszych (25 lat lub poniżej) mniej doświadczonym kierowcom [10]. Za kluczowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu drogowego w UE uznano te, które dotyczą: alkoholu i narkotyków, prędkości, systemów ochronnych, świateł do jazdy dziennej, budowy samochodu, drogi i zarządzania urazami [25]. Autobusy muszą być wyposażone w systemy bezpieczeństwa przyjezdne osobom niepełnosprawnym [4]. Transportu publicznego winien także zapewnić bezpieczeństwo osobiste pasażerów, rozumiane jako brak ryzyka jakiegokolwiek naruszenia nietykliwości osobistej lub mienia ze strony innych uczestników [28, 31]. W transporcie miejskim jednym z najważniejszych elementów procesów zarządzania jest kontrola i zapewnienie możliwie najwyższej jakości usługi [11]. Wiążą się one z nadzorowaniem i korygowaniem stanów rzeczy oraz realizowanych procesów, w celu zapewnienia ich przyszłej sprawności.

**Warunki badań.** Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Sp. z o. o. we Wrocławiu (MPK Wrocław) liniowo eksploatuje autobusy: Ikarus - 280.70E, Jelcz - 120MM, M121M, M121MB, M181M i M181MB, Volvo - B10M, B10BLE, 7000, 7700 i 7700H, Mercedes-Benz - O530 K Citaro, O530 Citaro, O530 G Citaro i O530 G Citaro 2 oraz Solaris Urbino - 12 i 18 [15]. Najstarszymi autobusami, a analizowanym 2014 roku, były pojazdy marki Jelcz i Ikarus. Największą grupę 194 autobusów stanowi Volvo oraz drugą, pod względem liczności, autobusy Mercedes-Benz Citaro. Średni wiek autobusów Volvo to 12,4 lat oraz autobusów Mercedes-Benz 5,7 lat (rys. 1).



Rys. 1. Zestawienie techniczne autobusów MPK Wrocław i ich charakterystyka: a) średni wiek, b) średnia liczba autobusów w grupie, c) liczba zdarzeń drogowych, d) liczba kolizji i wypadków na 10000 kilometrów przebiegu



Rys. 2. Elementy konstrukcji nadwozia autobusu Mercedes-Benz Citaro: a) konstrukcja pochłaniająca energię zderzenia (wzmocnienie), mające umożliwić autobusowi spełnienie przyszłościowej normy bezpieczeństwa EKG-ONZ R29, b) kratownica po próbie wywrotu - zapewniająca dużą przestrzeń życiową pasażerów, wymagana normą EKG-ONZ R66/01

Citaro albo O530 jest autobusem przeznaczonym do użytku w komunikacji miejskiej i podmiejskiej klasy maxi i mega. Od 1997 roku Citaro jest wytwarzane w Mannheim (Niemcy) oraz Ligny-en-Barrois (Turcja). Kratownica autobusu O530 jest nowoczesną konstrukcją o małym przemieszczeniu elementów podczas wywrotu, czyli o dużym bezpieczeństwie przestrzeni życiowej, co jest wymagane normą EKG-ONZ R66/01. Ma ona w części czołowej dodatkową konstrukcję pochłaniającą energię zderzenia (rys. 2a). Umożliwia to autobusowi spełnienie przyszłościowych norm bezpieczeństwa EKG-ONZ R29. W rozpatrywanych autobusach Citaro (tablica) silnik umieszczony jest z tyłu po lewej stronie. Silnik OM 936 ma europejski standard emisji spalin Euro 6 oraz system zapobiegający powstaniu pożarów, tylko w wersji Citaro 2. Zbiorniki oleju napędowego umiejscowione są pod siedzeniami pasażerów. Poszczególne wersje mają oznaczenie: O530 K - autobus jednoczłonowy, długości 10,5 m, 2 osie i 3 drzwi; O530 - autobus jednoczłonowy, długości 12 m, 2 osie i 3 drzwi; O530 G - wersja przegubowa, długości 18 m, 3 osie i 4 drzwi; O530 G Citaro 2 - wersja drugiej generacji Mercedes-Benz Citaro G, zbudowana w 2011 roku. Liczba miejsc ogółem wynosi 106, miejsc siedzących 28-32. Stalowa kratownica autobusów O530 wykonana jest z rur kwadratowych i prostokątnych o małych przemieszczeniach podczas wywrotu bocznego (rys. 2b). Autobus Citaro wyposażono w światła LED z doświetlaniem zakrętów, siedzenia nieregulowane, oparcie foteli niskie bez pasów bezpieczeństwa. Skrzynia biegów jest automatyczna Diva 60, 4-stopniowa. Hamulce o rozwiązaniu tarczowym są sterowane elektronicznie z zintegrowanym retarderem. Systemy bezpieczeństwa wspomagające pracę kierowcy to: układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania (ABS), system kontroli trakcji (ASR) - nie dopuszczający do poślizgu kół osi napędowej pojazdu podczas przyspieszania oraz elektroniczny układ hamowania (EBS). Opony Conti Urban HA3 mają rozmiar 275/70 R22,5 i są z zagęszczeniem rowków oraz grubszymi ścianami bocznymi. Zwiększenie zagęszczenia oraz sztywność opasania w karkasie polepsza odporność na kontakt z krawężnikami. Z kolei zwiększone grubości ściany bocznej zapewnia lepszą ochronę. Szerszy biegnik wpływa na lepszą stabilność w zakrętach przy jeździe po mieście. Z kolei większe zagęszczenie połączonych rowków poprawia przyczepność na mokrej nawierzchni.

Zamieszczono w publikacji porównawczo także wyniki badań autobusu Jelcz 120MM MPK Wrocław oraz autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro 12 ON oraz Citaro 12 CNG z MPK Rzeszów. Jelcz 120MM to dwunastometrowy, średniopodłogowy autobus miejski o 3 dwuskrzydłowych drzwiach o układzie 2-2-2, klasy maxi. Jest on rozwiniętą konstrukcją modelu PR110MM. Autobus otrzymał silnik MAN D0826LUH o mocy maksymalnej 220 KM, oraz 4 biegową automatyczną skrzynię biegów ZF 4HP500.

Wrocławski Obszar Metropolitalny (WrOM) obejmuje 9 powiatów i miasto na prawach powiatu Wrocław [32]. Liczba ludności wynosi 1 172 954, powierzchnia 6725 km<sup>2</sup> i gęstość zaludnienia 174,4 osoby/km<sup>2</sup>. WrOM wyrasta na centrum biznesowe, jest czwartym pod względem liczby ludności miastem w Polsce - 633 802 mieszkańców, piątym pod względem powierzchni - 293 km<sup>2</sup>. Struktura sieci drogowej Wrocławia jest silnie zorientowana na centrum miasta, mając kształt promienisty. Transport autobusowy w mieście zapewnia głównie MPK Wrocław. Infrastruktura składa się ze 104 linii dziennych i 13 linii nocnych. Tabor MPK Wrocław stacjonuje w miejskich zajezdniach. Eksploatowane są liniowo pojazdy firm - Ikarus, Jelcz, Volvo, Mercedes-Benz i Solaris. Od 2014 roku testowany jest autobus z napędem hybrydowym Volvo, model 7700 Hybrid. Dworce autobusowe obsługiwane są przez Polbus-PKS, PKS z całego kraju,

PolskiBus.com, DLA, Sevibus, Trako, Marco Polo i kilku mniejszych prywatnych przewoźników. Miejski transport zbiorowy we Wrocławiu korzysta z 22 stałych linii tramwajowych oraz kolei linowej przez Odrę. Rozległa sieć tramwajowa jest jedną z większych w kraju. Przez Wrocław przebiega autostrada A4, autostrada A8, droga ekspresowa S5, droga krajowa nr 5, droga krajowa nr 94, droga krajowa nr 98. Miasto ma autostradę Obwodnicę Wrocławia (AOW), Wschodnią Obwodnicę Wrocławia (WOW), węzeł autostrady A4 i dróg nr 5, nr 35 i nr 98 oraz trasę W-Z, obwodnicę śródmiejską, obwodnicą aglomeracyjną - Zachodnią Obwodnicę Wrocławia (ZOW). We Wrocławiu jest Konsulat honorowy Ukrainy natomiast miastem partnerskim Wrocławia jest Lwów.

Tabela. Zestawienie danych eksploatacyjnych autobusów marki Mercedes-Benz w MPK Sp. z o.o. Wrocław wraz z uszkodzeniami układów w 2014

Nazwa uszkodzonego układu autobusu	Rodzaj autobusu				Suma uszkodzeń
	Mercedes-Benz O530 K Citaro	Mercedes-Benz O530 Citaro	Mercedes-Benz O530 G Citaro	Mercedes-Benz O530 G Citaro 2	
Układ hamulcowy	11	56	48	8	123
Układ elektryczny	19	89	71	10	189
Układ nadwozia	2	52	32	1	87
Układ przeniesienia napędu	0	16	14	2	32
Układ zawieszenia	5	37	29	1	72
Układ kierowniczy	5	18	15	3	41
Silnik z osprzętem	12	60	46	8	126
Układ jezdny	0	20	15	2	37
Liczba uszkodzeń autobusów LU	54	348	270	35	707
Liczba kolizji i wypadków LZ	1	93	67	2	163
Średnia wieku, lata	3	5,7	5,7	3	-
Sumaryczny przebieg autobusów	65 818	4 496 745	2 709 404	54 824	7 326 791
Liczba ogółem	1	58	42	1	

**Przebieg badań i wyniki pomiarów.** Zgromadzone informacje w tabeli dotyczą: liczby uszkodzeń i awarii poszczególnych układów autobusów w każdej analizowanej grupie, liczby kolizji i wypadków drogowych badanych pojazdów, sumarycznego przebiegu rocznego każdej analizowanej grupy autobusów. Do określenia liczby uszkodzeń badanych zbiorów autobusów, posłużono się danymi zamieszczonymi w książce zleceń napraw autobusu. Uszeregowano poszczególne układy, od najbardziej narażonych na usterki do mniej podatnych na awarie, występujące w czasie eksploatacji autobusów międzymiastowych. Do zgromadzenia liczby kolizji i wypadków drogowych spowodowanych przez autobusy, w badaniach własnych analizowanych grup, posłużono się danymi zawartymi w zbiorach dokumentów z archiwum przewoźnika oraz protokołów Zakładów Ubezpieczeń i sporządzanych wycen zaistniałych szkód. Określono liczbę kolizji i wypadków, których przyczyną powstania zdarzeń był stan ograniczonej zdatności badanych autobusów.

Ocenę liczby uszkodzeń autobusów i ich układów, przypadającą na tysiąc kilometrów, w ciągu jednego roku użytkowania, przeprowadzono za pomocą wskaźników  $W_1$  i  $W_2$ , gdzie:

$W_1$  - wskaźnik liczby uszkodzeń autobusu na 1000 km (rys. 3)

$$W_1 = \frac{LU}{P} \cdot 10^3 \quad (1)$$

gdzie:  $LU$  - liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu 1 roku,  
 $P$  - sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze ciągu 1 roku.

Wartości wskaźnika liczby uszkodzeń wybranego układu autobusu na 1000 km  $W_2$  obrazuje rysunek 3.

$$W_2 = \frac{LU^*}{P} \cdot 10^3 \quad (2)$$

gdzie:  $LU^*$  - liczba uszkodzeń i-tego układu (podsystemu) w ciągu 1 roku inicjujących zdarzenia niepożądane,

$P$  - sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze ciągu 1 roku.

W celu oceny zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego,  $O$ , jakie stwarzają uszkodzenia poszczególnych układów autobusów, przeprowadzono badania ankietowe metodą oceny eksperckiej [16]. Ankiecie poddano grupy pracowników: mechanicy stacji obsługi, diagności, kierowcy autobusów, dyspozytorzy ruchu autobusowego i brygadziści stacji obsługi. Istotność wpływu uszkodzenia układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa, oceniano w dziesięciostopniowej skali:

1-2 - uszkodzenie układu nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,

3-5 - uszkodzenie układu raczej nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,

6-8 - uszkodzenie układu raczej powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,

9-10 - uszkodzenie układu powoduje zagrożenia bezpieczeństwa.

Poziom zagrożenia działania autobusu, wynikający z uszkodzenia układu autobusu, wyznaczono za pomocą wskaźnika  $W_3$  i  $W_4$  (rys. 4). Wskaźnik  $W_3$  charakteryzuje poziom zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu wynikiły z uszkodzenia układu autobusu w ciągu jednego roku [16].

$$W_3 = \frac{LZ}{LU^*} \cdot P(U^*) \cdot O \quad (3)$$

gdzie:  $LZ$  - liczby zdarzeń drogowych (kolizji i wypadków) w analizowanym zbiorze autobusów,

$LU^*$  - liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu w ciągu 1 roku,

$P(U^*)$  - prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu,

$O$  - ocena stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego (rys. 5, jakie stwarza uszkodzenie analizowanego układu (zakres oceny od 1 do 10).

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu (rys. 5 wyznaczono z estymaty, na podstawie zależności:

$$P(U^*) = LU^* / LU \quad (4)$$

gdzie:

$LU^*$  - liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu w ciągu 1 roku,

$LU$  - liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu 1 roku.

Z kolei wskaźnik  $W_4$  charakteryzuje także ocenę poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego wywołany intensywnością uszkodzeń układu autobusu w ciągu jednego roku podczas tysiąca kilometrów przebiegu lecz sposób jego obliczenie jest odmienny, jak powyżej. Wskaźnik  $W_4$  wyznaczono z zależności:

$$W_4 = \frac{LZ}{LU} \cdot P(U^*) \cdot O \quad (5)$$

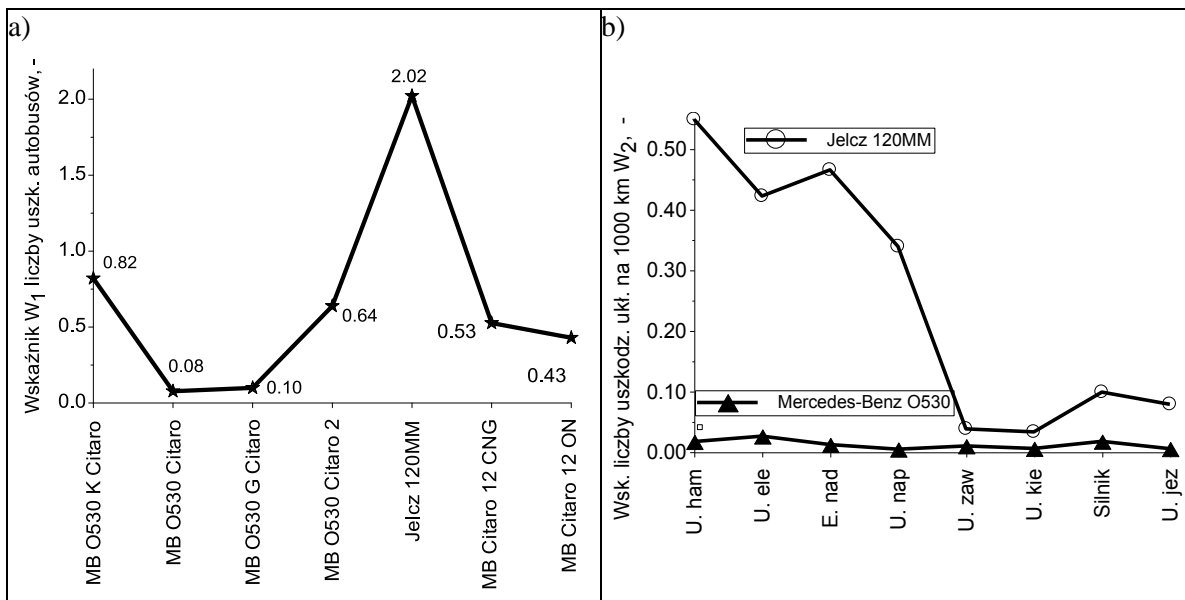
gdzie:  $LZ$  - liczba wszystkich zdarzeń niepożądanych,

$LU$  - liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu jednego roku,

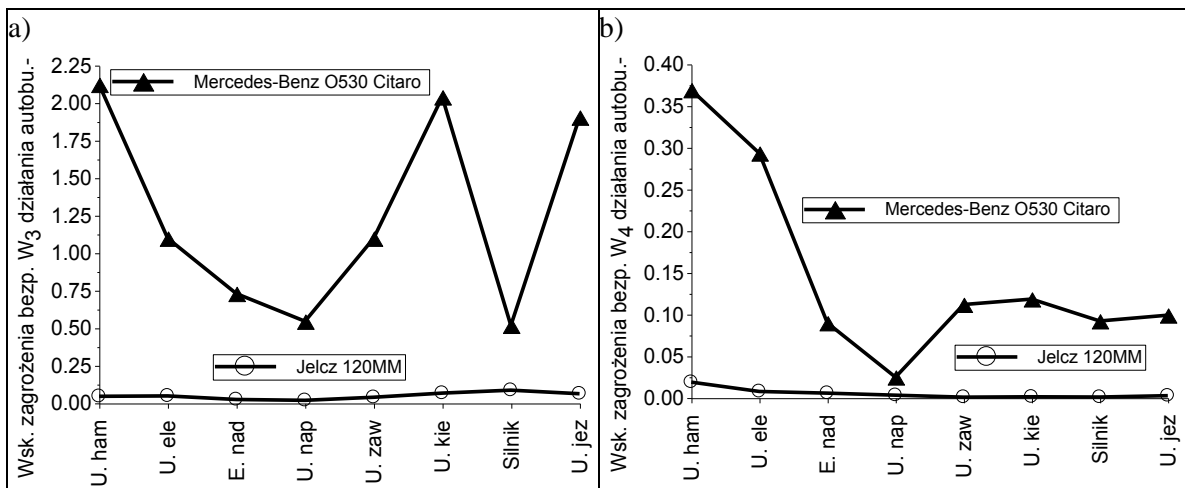
$P(U^*)$  - prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu,

$O$  - ocena zagrożenia, jakie stwarza uszkodzenie analizowanego podsystemu autobusu (1-10): gdzie: 1 - oznacza zespół nieistotny autobusu, którego uszkodzenie nie stwarza zagrożenia, 10 - oznacza zespół istotny autobusu, którego uszkodzenia powodują niepożądany stan zagrożenia bezpieczeństwa działania systemu transportu i stanowią przyczynę wypadku drogowego.

Analizowano uszkodzenia układów autobusów: układ hamulcowy, układ elektryczny, elementy nadwozia, układ przeniesienia napędu, układ zawieszenia, układ kierowniczy, silnik z osprzętem i układ jezdny.



Rys. 3 Wartości wskaźników uszkodzalności systemu transportu MPK Wrocław: a) wskaźnik liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km w porównaniu z autobusami Mercedes-Benz O530 Citaro MPK Rzeszów, b) wskaźnik liczby uszkodzonych układów autobusów



Rys. 4 Wartości wskaźników oceny poziomu zagrożenia działania systemu transportu wynikające z uszkodzenia układu autobusów: a) poziom zagrożenia działania autobusu  $W_3$ , b) poziom zagrożenia działania autobusu  $W_4$

Według normy IEC 50(191)-1990 oraz PN-93/N-50191 termin niezawodność jest używany tylko do ogólnego nieliczbowego opisu. Niezawodność to zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność, obsługiwalność, zapewnienie środków obsługi. Istnieje matematyczny związek pomiędzy miarami nieuszkodzalności pojazdu oraz bezpieczeństwem. W książce [30] przyjęto iż podstawą wszelkich metod analizy ryzyka, a także podstawą działań praktycznych na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego, jest związek miary ryzyka  $\Lambda(c,t)$  (6) z prawdopodobieństwem  $Q(t)$  (lub odpowiednią częstością) zajścia zdarzenia niepożądanego A, w przyjętym okresie  $t$ , a prawdopodobieństwem  $Z(c)$  tego, że zajście zdarzenia A spowoduje straty nie mniejsze niż  $c$ .

$$\Lambda(c, t) = Q(t) \cdot Z(c) \quad (6)$$

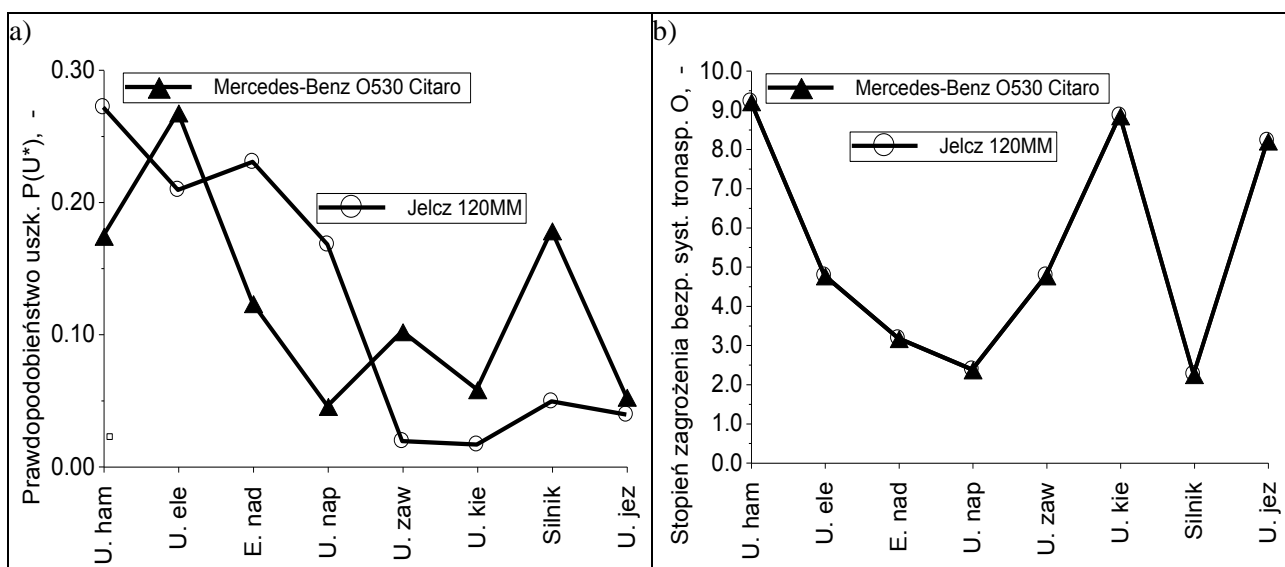
Prawdopodobieństwo  $Q(t)$  wystąpienia zdarzenia niepożądanego w czasie  $t$  traktowane jest jako miara zawodności autobusu i ludzi. Z uwagi na brak danych statystycznych wartości  $Q(t)$  i  $Z(c)$  przyjęto metodykę jak poniżej.

Z wyników zamieszczonych na rysunku 1 wynika iż najmniejszą liczbę wypadków i kolizji na 10 000 km mają autobusy Solaris, Jelcz, zbliżoną Volvo i Mercedes-Benz natomiast największą najstarsze Ikarus. Jest interesującym, że autobusy Jelcz mimo średniego wieku 18,7 lat przewyższają bezpieczeństwem bardzo

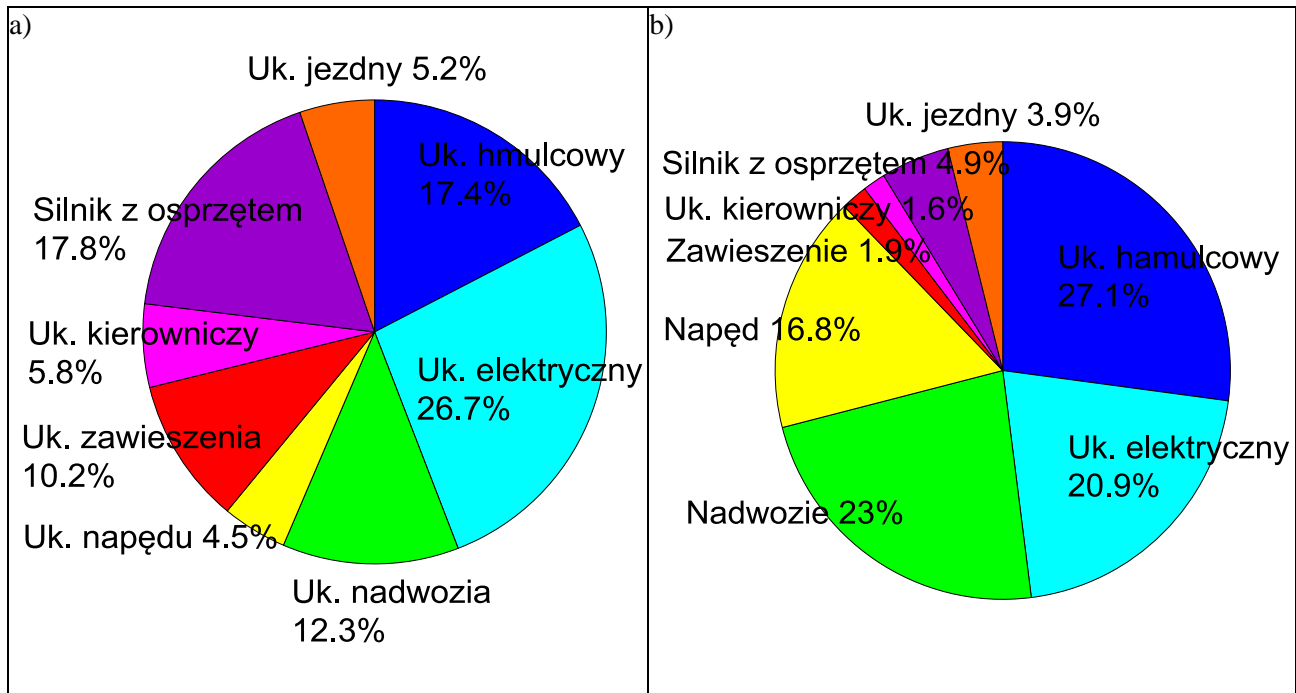
nowoczesne, młodsze i bogato wyposażone techniką bezpieczeństwa czynnego i biernego konstrukcje Volvo i Mercedes-Benz. Jest także zaskakująco porównywalna liczba zdarzeń drogowych autobusów Volvo i Mercedes-Benz Citaro, pomimo dwukrotnej różnicy wieku, starsze są autobusy Volvo.

Autobusy Mercedes-Benz Citaro i G Citaro z MPK Wrocław mają korzystną i bardzo niską liczbę uszkodzeń na 1000 km, pomimo średniego wieku 5,7 lat (wskaźnik  $W_1=0,08-0,10$ , rys. 3a). Z kolei autobusy 10,5 mm, K Citaro oraz przegubowe drugiej generacji G Citaro 2, charakteryzują się wielokrotnie gorszą nieuszkodzalnością. Wartość  $W_1$  wynosi bowiem 0,62-0,84, natomiast wiek 3 lata. Także znacznie gorszą nieuszkodzalność stwierdzono dla autobusów Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Citara 12 ON w MPK Rzeszów. Wartość wskaźnika liczby uszkodzeń autobusów  $W_1$  wynosiła 0,43-0,53, wiek 0,5 roku. Pewnym wyjaśnieniem tych wartości może być ich zakład produkcyjny i konstrukcja drugiej generacji. Oczywiście 18,7 roczne autobusy Jelcz 120MM miały nieporównywalnie gorszą niezawodność,  $W_1=2,02$ . Również wszystkie układy autobusu Jelcz 120MM charakteryzują się większą liczbą uszkodzeń. Wskaźnik  $W_2$  ma zakres zmienności 0,55-0,04 (rys. 3b). Zdecydowanie mniejszą liczbę uszkodzeń układów mają autobusy Mercedes-Benz Citro w MPK Wrocław. Wskaźnik  $W_2$  wynosił bowiem 0,01-0,03. Jednak prawdopodobieństwo uszkodzenia układów: elektrycznego, kierowniczego, jezdnego oraz silnika i zawieszenia Jelcz 120MM jest korzystniejsza (rys. 5a). Mercedes-Benz Citaro przewyższa jedynie autobus Jelcz 120MM pod względem mniejszego prawdopodobieństwa uszkodzenia układów: hamulcowego, napędowego i nadwozia. Niekorzystne jest w autobusach Mercedes-Benz bardzo duże prawdopodobieństwo uszkodzeń układu elektrycznego ( $P(U^*)=0,27$ ), hamulcowego ( $P(U^*)=0,17$ ) oraz silnika ( $P(U^*)=0,18$ ), zwłaszcza biorąc pod uwagę cenę tych komponentów.

Są bardzo niekorzystne, dla nowoczesnych autobusów Mercedes-Benz Citaro wyznaczone wartości poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu wynikłe z uszkodzenia układu autobusu w ciągu 1 roku  $W_3$  jak i  $W_4$  (rys. 4). Wartości wskaźników poziomu zagrożenia działania autobusów Mercedes-Benz Citaro wynoszą bowiem  $W_3=0,52-2,12$  i  $W_4=0,02-0,37$ . W porównaniu z autobusem Jelcz 120MM jest to całkowicie zaskakujące, tutaj wynoszą wielokrotnie mniej  $W_3=0,01-0,08$  i  $W_4=0,001-0,02$ . Największe różnice, zagrożenia działania autobusu dotyczą układów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego i zawieszenia, czyli powszechnie uznanych w analizie bezpieczeństwa (na podstawie  $W_3$ ). Z kolei na podstawie wskaźnika  $W_4$  największe różnice tych autobusów dotyczą układów: hamulcowego, elektrycznego, kierowniczego, zwieszenia, jezdnego i silnika. Wzrost poziomu zagrożenia działania autobusu wynikły z uszkodzenia układu jest bardzo wysoki i wynosi od 8,3 do 47,9 razy. Zagrożenie działania autobusu Citaro jest jedynie porównywalne z Jelcz 120MM dla układu przeniesienia napędu, lecz także gorsze. Oczywiście przyjęto, ze względów oczywistych, jednakowy stopień zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego  $O$  poprzez uszkodzenie układu konstrukcyjnego autobusu (rys. 5b).



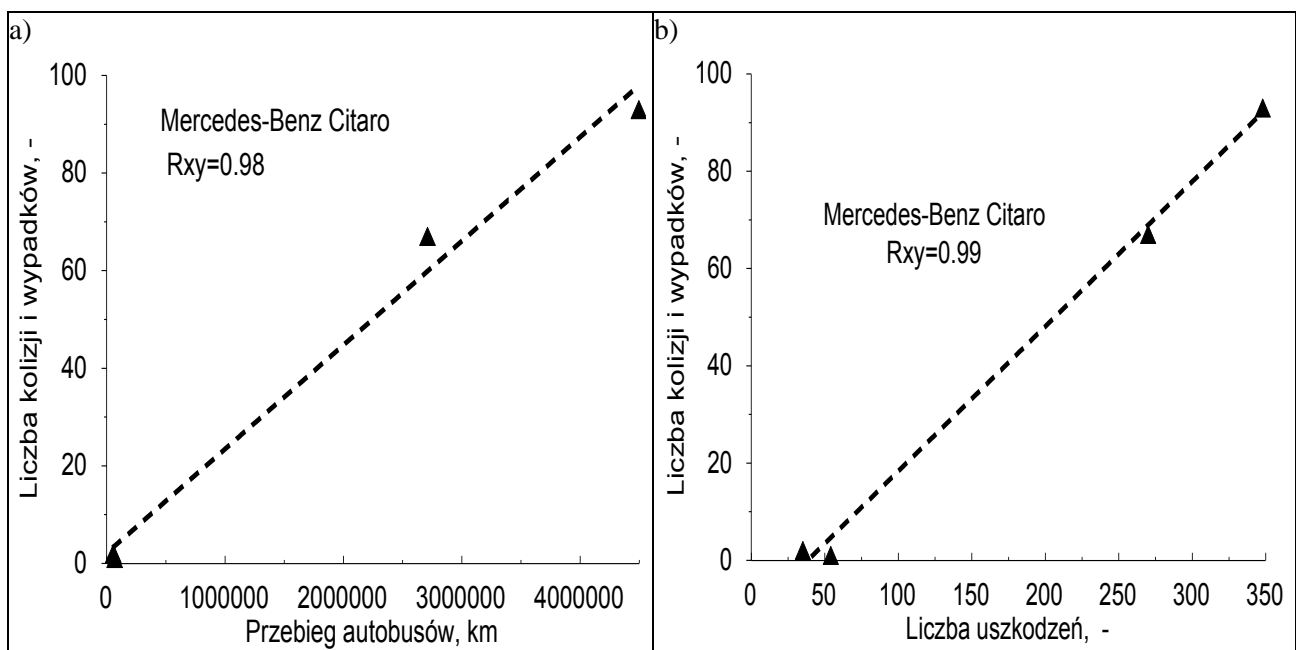
Rys. 5 Zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu MPK Wrocław: a) prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia układów autobusów  $P(U^*)$ , b) średnie wartości zagrożenia bezpieczeństwa jakie stwarza uszkodzenie układów autobusów na podstawie metody oceny ekspertów



Rys. 6. Procentowy udział uszkodzeń układów autobusów jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław: a) Mercedes\_Benz O530 Citaro, b) Jelcz 120MM

Rysunek 6 przedstawia procentowy udział uszkodzeń układów autobusów jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław. Suma podanych wartości, czyli 100%, dotyczy kolizji i wypadków autobusów Citaro (rys. 6a) i autobusów Jelcz 120MM (rys. 6b). Uszkodzenia układu zawieszania, kierowniczego, jezdnego, elektrycznego i silnika Citaro wywołują większe zagrożenie działania oraz zagrożenie bezpieczeństwa drogowego niż uszkodzenia analogicznych układów autobusu Jelcz 120MM. Korzystniejsze wartości procentowe dotyczą układu hamulcowego i napędowego, odpowiednio.

Liczba zdarzeń drogowych LZ (rys. 7) z przebiegiem i liczbą uszkodzeń autobusów miejskich MPK Wrocław ma zależność bardzo wysoką. Korelacja jest prawie pewna oraz współczynnik pewny.



Rys. 7. Liczba kolizji i wypadków autobusów w MPK Wrocław od) przebiegu, b) liczby uszkodzeń układów autobusów



**Podsumowanie.** Analizowane autobusy Mercedes-Benz Citaro charakteryzują się bardzo wysoką nieuszadzalnością, określaną wskaźnikiem liczby uszkodzeń układów konstrukcyjnych autobusu  $W_2$ . Znalazło to bardzo duże uznanie przewoźników, o czym świadczy bardzo wysoka ich sprzedaż. Wskaźnik liczby uszkodzeń autobusów Mercedes-Benz Citaro na 1000 km jest bardzo korzystny i niewielki. Jest on jednak wysoko zróżnicowany dla poszczególnych modeli, jak i zależny od generacji rozwiązania i wytwórni, co wynika z wartości wskaźnika  $W_1$ . Poziom zagrożenia działania autobusu Mercedes-Benz Citaro, wynikający z uszkodzenia układu konstrukcyjnego jest bardzo niekorzystny w porównaniu z autobusem Jelcz 120MM (wartości wskaźników  $W_3$  i  $W_4$ ).

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia  $P(U^*)$  układu nowoczesnego autobusu Mercedes-Benz Citaro niewiele odbiega od jego wartości dla autobusu Jelcz 120MM. Ma nawet mniej korzystne wartości dla 5 układów: elektrycznego, silnika, zawieszenia, kierowniczego i jezdnego. Liczba zdarzeń drogowych  $LZ$  ma z przebiegiem autobusów i liczbą ich uszkodzeń korelację prawie pewną, współczynnik pewny oraz zależność bardzo wysoką. Wskaźnik  $W_4$  w porównaniu ze wskaźnikiem  $W_3$  wnosi pewne nowe i odmienne wartości w analizie zagrożenia działania oraz bezpieczeństwa drogowego transportu miejskiego.

Na podstawie danych literaturowych można stwierdzić, że nowoczesne autobusy Mercedes-Benz Citaro wyposażone są w wiele systemów zapobiegających i ograniczających skutki wypadków drogowych. Zastosowane systemy bezpieczeństwa w autobusach wynikają z aktów prawnych jak i warunków w jakich są użytkowane. **LITERATURA** eksponuje zastosowane systemy bezpieczeństwa, głównie ze względu na ich marketingowy wydźwięk. Z danych literatury nie można odpowiedzieć na pytanie w jakim stopniu dany systemy bezpieczeństwa zastosowany w autobusie wpływa na liczbę kolizji i wypadków.

#### LITERATURA

- [1] Akopian R.: Budowa pojazdów samochodowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1995.
- [2] Albertsson, P., Falkmer, T.: Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanisms. *Accident Analysis and Prevention* 37, 2005, s. 225-233.
- [3] Cafuso S., Di Graziano A., Pappalardo G.: Road safety issues for bus transport management. *Accident Analysis & Prevention* 60, 2013, s. 324-333.
- [4] Dostępna komunikacja miejska. Samorząd równych szans. Fundacja Instytut Rozwoju Regionalnego, Kraków 2009.
- [5] Drożdżiel P., Komsta H., Rybicka I.: Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. *Logistyka* 3, 2012, s. 498-506.
- [6] Drożdżiel P., Komsta P., Rybicka H., I.: Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie trolejbusów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. *Zeszyty Naukowe WSEI Seria Transport i Informatyka* 2(1), 2012, s. 127-138.
- [7] Drożdżiel P., Opielak M., Rybicka I.: Bezpieczeństwo transportu pasażerskiego w komunikacji miejskiej. *Logistyka* 3, 2012, s. 513-520.
- [8] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2008.
- [9] Global status report on road safety 2013. Supporting a decade of action. World Health Organization 2013.
- [10] Goh, K., Currie, G., Sarvi, M., Logan, D.: Factors affecting the probability of bus drivers being at fault in bus-involved accidents. *Accident Analysis and Prevention* 66, 2014, s. 20-26.
- [11] Jackiewicz J., Czech P., Barcik J.: Standardy jakości usług w komunikacji miejskiej - Część 1. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: TRANSPORT* z. 67, Nr kol. 1832, 2010, s. 55-65.
- [12] Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2011.
- [13] Kaplan S., Prato, C.G.: Risk factors associated with bus accident severity in the United States: A generalized ordered logit model. *Journal of Safety Research* 43 (3), 2012, s. 71-180.
- [14] Mariański M.: Autokary wielkiej turystyki. Wydawca AUTO, Warszawa. *Transport Technika Motoryzacyjna*, 7/8, 2010, s. 66-73.
- [15] Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Wrocławiu (MPK Sp. z o.o. Wrocław). Wpływu uszkodzeń autobusów na bezpieczeństwo transportu miejskiego. Dane MPK sp. z o.o. we Wrocławiu z roku 2014. Materiał wewnętrzny, niepublikowane.
- [16] Michalski J.: Bezpieczeństwo autobusów i transportu zależne od uszkodzeń eksploatacyjnych

wybranych układów. Національний Транспортний Університет Київ, Вісник Національного Транспортного Університету, Науково-технічний збірник, Київ, 30, 2014, s. 265-277.

[17] Murray W., Newnam S., Watson B., Davey J., Schonfeld C.: Evaluating and improving fleet safety in Australia. Department of Transport and Regional Services Australian Transport Safety Bureau. Road Safety Research Grant Report 2003.

[18] Najwyższa Izba Kontroli, Departament komunikacji i systemów transportowych. Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, 2011 r. [www.nik.gov.pl](http://www.nik.gov.pl)

[19] Orzełowski S.: Budowa podwozi i nadwozi samochodowych: podręcznik dla technikum samochodowego. Wydanie 6. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1987.

[20] Piątkowski P., Lewkowicz R.: Bezpieczeństwo w pojazdach komunikacji miejskiej, TRANSCOMP – XIV International Conference Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, Zakopane, 2013, s. 2727-2736.

[21] Polska norma: PN-S-47010:1999 - Pojazdy drogowe, autobusy - wymaganie podstawowe.

[22] Prochowski L., Żuchowski A.: Samochody ciężarowe i autobusy. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2011.

[23] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. z dnia 26 lutego 2003 r.: Dz.U.2003.32.262).

[24] Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu: Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.

[25] SafetyNet Work Package 3. State-of-the-art Report on Road Safety Performance Indicators, SafetyNet 2005.

[26] Sandecki T.: Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Cz. 1: Wprowadzenie. Cz. 2. Zagadnienia techniczne. Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów Transprojekt. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Wydanie 2 uaktualnione i uzupełnione, Warszawa 2002-2003.

[27] Stańczyk T.L.: Działania kierowcy w sytuacjach krytycznych: Badania eksperymentalne i modelowe. Monografie, Studia, Rozprawy, Politechnika Świętokrzyska, M43, Nauki Techniczne-Budowa i Eksploatacja Maszyn. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013.

[28] Świątecki P., Wojucka D. (red.): Bezpieczeństwo w publicznym transporcie zbiorowym. Kancelaria Senatu 2013. Konferencja Senackiego Zespołu Infrastruktury, 15 października 2012 r. Zeszyt 15/2013.

[29] Szczuraszek T.(red.): Bezpieczeństwo ruchu miejskiego: praca zbiorowa. Wydanie 1, dodruk, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2008.

[30] Szopa T.: Niezawodność i bezpieczeństwo. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009.

[31] Towpik K., Gołaszewski A., Kukulski J.: Infrastruktura transportu samochodowego, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2006.

[32] Warczewska B., Mastalska-Cetera B.: Charakterystyka wrocławskiego obszaru metropolitalnego ze szczególnym uwzględnieniem systemu przyrodniczego. Acta Universitatis Lodzensis Folia Oeconomica, 245, 2010, s. 157-167.

[33] Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wyd. 3 rozszerzone, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2012.

[34] Więclowski D.: Nowy Citaro: bezpieczeństwo i obniżona masa (2). Opublikowano 2011-06-08, [www.infobus.pl](http://www.infobus.pl).

## STRESZCZENIE

MICHALSKI Jacek. Uszkodzalność układów autobusów Mercedes-benz Citaro a bezpieczeństwo transportu miejskiego / MICHALSKI Jacek // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NUT, 2015. – № 32.

W artykule przedstawiono wpływ uszkodzeń autobusów i ich układów na zagrożenie działania oraz bezpieczeństwo systemu transportu metropolii Wrocław. Wzięto pod uwagę autobusy firm Ikarus, Jelcz, Volvo, Solaris oraz szczegółowo Mercedes-Benz: O530 K Citaro, O530 Citaro, O530 G Citaro, O530 G Citaro 2. Badane autobusy Citaro były jednoczłonowe o długości 10,5 m i 12 m oraz przegubowe o długości 18 m. W badaniach, ograniczoną zdatność autobusów oceniono wartościami wskaźników O, W1 i W2. Dokonano oceny stopnia zagrożenia bezpieczeństwa oceną ekspertów, prawdopodobieństwem wystąpienia uszkodzenia P(U\*) oraz wskaźnikami W3 i W4.

#### РЕФЕРАТ

МІХАЛЬСКИ Яцек. Надійність систем автобуса Mercedes-benz Citaro стосовно безпеки дорожнього руху в містах / МІХАЛЬСКИ Яцек // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

В статті наведено вплив дефектів в автобусах і їх систем на загрози експлуатації і безпеки транспортної системи у Вроцлаві . Розглядаються автобуси компаній Ikarus, Jelcz, Volvo, Solaris, і більш докладно Mercedes-Benz O530 Citaro K, O530 Citaro, в O530 Citaro G, O530 G Citaro 2. Було випробувано автобуси Citaro: монолітні - довжиною 10,5 м і 12 м та шарнірні - довжиною 18 м. Обмежена придатність автобусів була оцінена параметрами O, W1 і W2. Ступінь ризику для безпеки оцінювали за оцінками експертів, ймовірністю пошкоджень P(U\*) і правильністю показників W3 і W4.

#### ABSTRACT

MICHALSKI Jacek. Reliability of systems in Mercedes-benz Citaro bus versus urban transport safety. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The influence of defects in buses and their systems on the threat of metropolitan transport system operation and safety in Wroclaw is presented. Buses of Ikarus companies, Jelcz, Volvo, Solaris, and more detail Mercedes-Benz O530 Citaro K, O530 Citaro, the Citaro G O530, O530 G Citaro 2 are taken into account. Citaro buses were tested monolithic with a length of 10.5 m and 12 m articulated a length of 18 m. In the studies, limited suitability of buses was rated by indicator O, W1 and W2 values method. The degree of security risk was assessed by experts' evaluation, probability of damage P(U\*) and proper indicators W3 and W4.

#### AUTORZY:

MICHALSKI Jacek, Prof. dr hab. inż, Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959,Rzeszów, Polska

#### АВТОРИ:

МІХАЛЬСКИ Яцек, Професор, Доктор габілітований, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959,Жешув, Польща

#### AUTHORS:

MICHALSKI Jacek, Prof. DSc, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100, 35-959, Rzeszow, Poland

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Posvyatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobile, Kyiv, Ukraine.