

УДК 629.113
UDK 629.113

NIEZAWODNOŚĆ I BEZPIECZEŃSTWO AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ
WROCLAWIA

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

НАДІЙНІСТЬ І БЕЗПЕКА МІСЬКОГО АВТОБУСНОГО ТРАНСПОРТУ У ВРОЦЛАВІ

МІХАЛЬСКИ Яцек, Професор, Доктор хабілітований, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща

RELIABILITY AND SAFETY OF URBAN BUS TRANSPORT IN WROCLAW

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

WSTĘP

Niezawodność autobusów, jako obiektów odnawialnych, definiowana jest jako zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: trwałość, niezawodność, obsługiwalność, zapewnienie środków obsługi i przechowywalność [21, 22, 23]. Jednak, termin niezawodność jest używany tylko do ogólnego ilościowego opisu, odmienne jak w klasycznych polskich podręcznikach [19].

Wrocław jest miastem ma bardzo dobrze rozwiniętą infrastrukturę komunikacyjną i techniczną, spełniającą najwyższe standardy jakości i bezpieczeństwa. Między innymi sieć kolei pasażerskich: paneuropejską linię kolejową E30, dziesięć czynnych linii kolejowych normalnotorowych, kolej aglomeracyjną i kolej towarową, estakadę kolejową ponad poziomem ulic, międzynarodowy port lotniczy, żeglugę śródlądową Odrzańskiej Drogi Wodnej, rozwinięty system komunikacji miejskiej, Inteligentny System Transportowy (ITS), zaawansowaną sieć dróg lokalnych i tranzytowych oraz połączenie z europejską siecią autostrad. Struktura sieci drogowej Wrocławia jest silnie zorientowana na centrum miasta, ma kształt promienisty. Transport autobusowy w mieście zapewnia głównie Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Spółka z o. o. we Wrocławiu (MPK Wrocław). Miejski transport zbiorowy korzysta z 22 stałych linii tramwajowych, 42 autobusowych dziennych normalnych i łącznie 34 linii autobusowych - pośpiesznych, szczytowych, przyspieszonych, podmiejskich, okresowych i strefowych oraz kolei linowej przez Odrę. Rozległa sieć tramwajowa jest jedną z większych w kraju. Przez Wrocław przebiegają autostrady A4 i A8, droga ekspresowa S5, drogi krajowe nr 5, nr 94 oraz nr 98. Miasto ma Autostradą Obwodnicę Wrocławia, Wschodnią Obwodnicę Wrocławia, węzeł autostrady A4 i dróg nr 5, nr 35 i nr 98 oraz trasę W-Z, obwodnicę śródmiejską, obwodnicą aglomeracyjną - Zachodnią Obwodnicę Wrocławia [3]. We Wrocławiu jest Konsulat Honorowy Ukrainy natomiast miastem partnerskim Wrocławia jest Lwów.

W projektach zrównoważonego rozwoju transportu miast i gmin dużą uwagę przykład się do usuwania niedoborów przepustowości w działaniu najważniejszej infrastruktury sieciowej oraz wspieranie przejścia na gospodarkę niskoemisyjną we wszystkich sektorach transportu [13, 29]. Według World Economic Forum [34] globalne zużycie energii przez transport kolejowy wynosi 3% i autobusowy 4%. Jest ono bardzo niskie, w porównaniu z zużycia energii przez samochody ciężarowe 17% oraz pojazdy lekkie 52%. Także emisja dwutlenku węgla na pasażerokilometr [pkm] przez autobus i pociąg osobowy jest jedną z najniższych spośród gałęzi transportu. W USA wynosi odpowiednio 66,6 g/pkm i 106,9 g/pkm [33]. Zdecydowanie większą emisję na pasażerokilometr ma samochód dostawczy i osobowy, odpowiednio 322,5 g/pkm i 226,2 g/pkm. Zbliżone proporcje dotyczą innych państw.

Transport publiczny nie jest regulowany postanowieniami karty praw podstawowych Unii Europejskiej (UE) [30]. Między Państwami Członkowskimi UE stosowane są kompetencje dzielone do transportu kolejowego, drogowego i żeglugi śródlądowej [9]. Statystycznie w UE autobus jest zdecydowanie najbardziej bezpiecznym pojazdem drogowym [2, 10]. Udział procentowy 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. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w 2014 roku, w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców, w Polsce to aż 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

przystosowane do przenoszenia 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 [7, 27], czynniki drogowe mają największy wpływ na bezpieczeństwo ruchu. Jamroz [11] stwierdza, iż liczba wypadków silnie liniowo zależy od parytetu siły nabywczej, liczby pojazdów oraz pracy przewozowej. Jak wykazano w publikacji [5] bezpieczeństwo ruchu drogowego jest uzależnione od wielu czynników, lecz najistotniejszym z nich jest człowiek? Opublikowane przez politechnikę hanowerską wyniki badań bezpieczeństwa transportu publicznego to stwierdzenie: prawdopodobieństwo wypadku podczas podróży autobusem jest 39 razy mniejsze w porównaniu z jazdą samochodem, 12,5 razy mniejsze niż w samolocie i 4 razy mniejsze niż w pociągu [16].

Wymagania techniczne autobusów i ich układów zawarte są w aktach prawnych i publikacjach [1, 16, 23, 24, 25, 26, 32]. Silna konkurencja producentów autobusów, duża złożoność ich konstrukcji, presja na ograniczanie kosztów, powodują pogorszenie jakości oczekiwanej przez nabywców [28]. Wpływa to także na wzrost kosztów obsługi i napraw, jak i stwarza zagrożenie dla zdrowia i życia podróżujących. W artykułach [5, 6] przedstawiono analizę uszkodzeń układów bezpieczeństwa autobusów transportu miejskiego. W analizie uwzględniono układ hamulcowy, kierowniczy i zawieszenie, dla taboru pojazdów użytkowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Lublin. Najwięcej awarii wystąpiło w układzie hamulcowym, kierowniczym i zawieszeniu autobusów, odpowiednio. Dane pozyskane z MPK w Lublinie, w okresie jednego roku, wskazują najmniejszą liczbę awarii w autobusach marki Mercedes Conecto 628G i Conecto 628LF [5]. 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 [12]. 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].

Na bezpieczeństwo pasażerów autobusu największy wpływ wywiera początek hamowania, automatyczne otwieranie drzwi oraz materiały i architektura wewnętrzna autobusów oraz układy wspomaganie hamowania [4]. 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 [8]. 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 [9]. Autobusy muszą być wyposażone w systemy bezpieczeństwa przyjezdne osobom niepełnosprawnym. Transportu publicznego winien także zapewnić bezpieczeństwo osobiste pasażerów, rozumiane jako brak ryzyka jakiegokolwiek naruszenia nietykalności osobistej lub mienia ze strony innych uczestników [29]. W transporcie miejskim jednym z najważniejszych elementów procesów zarządzania jest kontrola i zapewnienie możliwie najwyższej jakości usługi [10]. Wiążą się one z nadzorowaniem i korygowaniem stanów rzeczy oraz realizowanych procesów, w celu zapewnienia ich przyszłej sprawności.

Analizowane autobusy MPK Wrocław Mercedes-Benz O530 Citaro są jednoczłonowe 2 osiowe, klasy MAXI, w wersji niskowejściowej LE (Low-Entry). Mają długość 11 950 mm, szerokość 2 550 mm, wysokość 2 869 mm, masę własną 10 770 kg, masę całkowitą 19 000 kg, rozstaw osi 5 845 mm oraz 3 drzwi w układzie 2-2-2. Silnik M 447 hLAG zasilany jest gazem ziemnym (pojemności skokowej 12 dm³, mocy 185 kW (252 KM) z momentem obrotowym maksymalnym 1050 Nm) albo odpowiednio; 240 kW (326 KM) i 1250 Nm oraz skrzynie biegów 6-biegowe automatycznej ZF. Silnik posiada automatyczny system zapobiegania i gaszenia pożarów. Nadwozie zostało wykonane ze stali o podwyższonej jakości, zabezpieczonej przed korozją. Autobus wyposażony jest w systemy bezpieczeństwa: ABS, ASR, EBS i ESP. Autobus ma także konstrukcję czołowej części kratownicy pochłaniającą zderzenie czołowe, spełniającą normę bezpieczeństwa EKG-ONZ R66.01.

WARUNKI BADAŃ

Analizowano uszkodzenia i bezpieczeństwo systemów autobusów: układ hamulcowy, układ elektryczny, elementy nadwozia, układ przeniesienia napędu, układ zawieszenia, układ kierowniczy, silnik z osprzętem i układ jezdny (tab. 1, 2, rys. 1-5).

Ocenę liczby uszkodzeń autobusów i ich układów, przypadającą na tysiąc kilometrów przebiegu, w ciągu jednego roku użytkowania, przeprowadzono za pomocą wskaźników W_1 i W_2 . Do wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu $P(U^*)$ posłużono się estymatą.

Poziom zagrożenia działania systemu transportu autobusowego, wynikający z uszkodzenia układu autobusu, wyznaczono z kolei za pomocą wskaźników W_3 i W_4 [17]. W celu oceny zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, O , jakie stwarzają uszkodzenia poszczególnych układów autobusów, przeprowadzono badania ankietowe metodą oceny eksperckiej. Ankiecie poddano grupy pracowników: mechanicy stacji obsługi, diagnosty, kierowcy autobusów, dyspozytorzy ruchu autobusowego

Tabela 1. Autobusy Mercedes-Benz i Jelcz 120MM w MPK Wrocław w 2014 r.: wartości liczbowe uszkodzeń układów, przebiegów, zdarzeń drogowych oraz wieku [15]

Nazwa uszkodzonego układu autobusu	Rodzaj autobusu				
	Mercedes-Benz O530 K Citaro	Mercedes-Benz O530 Citaro	Mercedes-Benz O530 G Citaro	Mercedes-Benz O530 G Citaro 2	Jelcz 120MM
Układ hamulcowy	11	56	48	8	217
Układ elektryczny	19	89	71	10	167
Układ nadwozia	2	52	32	1	184
Układ przeniesienia napędu	0	16	14	2	134
Układ zawieszenia	5	37	29	1	15
Układ kierowniczy	5	18	15	3	13
Silnik z osprzętem	12	60	46	8	39
Układ jezdny	0	20	15	2	31
Liczba uszkodzeń autobusów LU	54	348	270	35	800
Liczba kolizji i wypadków LZ	1	93	67	2	6
Średnia wieku, lata	3,1	5,7	5,7	3,1	18,7
Sumaryczny przebieg autobusów, km	65 818	4 496 745	2 709 404	54 824	395 631
Liczba ogółem autobusów	1	58	42	1	8

i brygadziści stacji obsługi. Istotność wpływu uszkodzenia układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa, oceniano w dziesięciostopniowej skali.

PRZEBIEG BADAŃ I WYNIKI POMIARÓW

W tabeli 1, 2 oraz na rysunkach 1-7 przedstawiono liczbę badanych autobusów, kolizji i wypadków oraz przebiegi autobusów jak i liczbę kolizji i wypadków na 100 000 kilometrów przebiegu analizowanych autobusów MPK Wrocław 2014 roku, odpowiednio. MPK Wrocław w 2014 roku liniowo eksploatowało 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, 31]. Najstarszymi autobusami, w analizowanym roku 2014, były pojazdy marki Jelcz i Ikarus (tab. 1, 2, rys. 1a, 2a). Największą grupę 174 autobusów stanowiły pojazdy Volvo. Drugą grupę, pod względem liczności, zajmowały 102 autobusy Mercedes-Benz Citaro (tab. 1, 2, rys. 1b, 2b). Średni wiek autobusów Volvo to 12,4 lat oraz autobusów Mercedes-Benz 5,7 lat.

Autobusy pierwszej generacji Mercedes-Benz Citaro i G Citaro, w 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. 5). Z kolei autobusy o długości 10,5 m, K Citaro, oraz przegubowe drugiej generacji G Citaro 2, charakteryzują się wielokrotnie gorszą nieuszkodzalnością. Wartość W_1 wynosi bowiem 0,64-0,82, natomiast wiek 3,1 i 5,7 lat, odpowiednio. Ponad pięciokrotnie gorszą nieuszkodzalność stwierdzono dla autobusów drugiej generacji Mercedes-Benz Citaro O530 12 CNG i ON w MPK Rzeszów [14]. Wartość wskaźnika liczby uszkodzeń autobusów W_1 wynosiła 0,43-0,53, wiek 1,9 roku. Pewnym

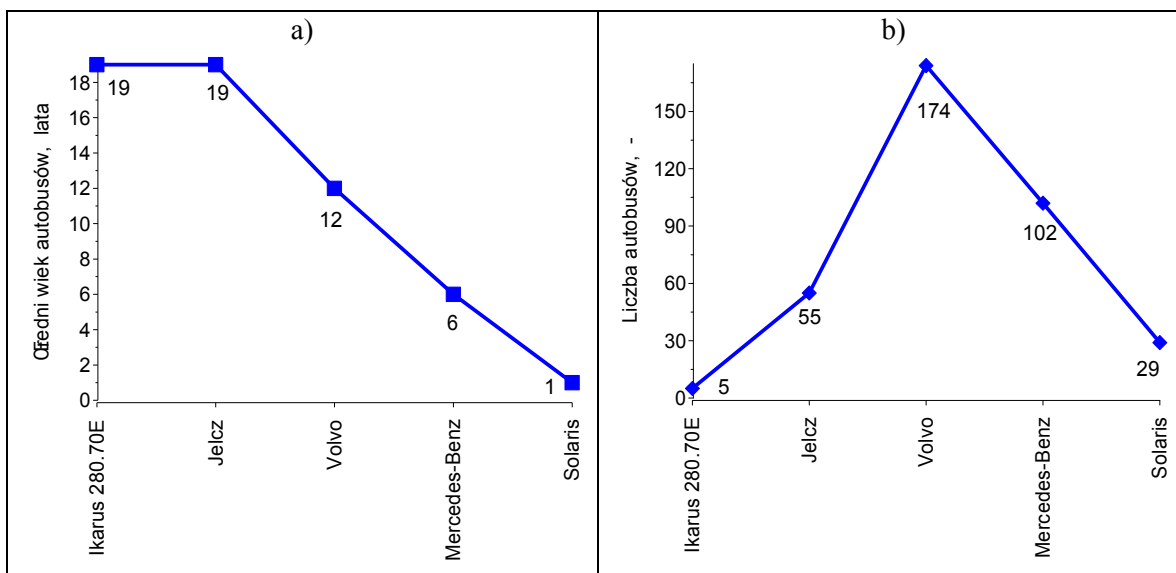
Tabela 2. Liczba badanych autobusów, liczby kolizji i wypadków oraz przebiegów autobusów MPK Wrocław [15]

Operator	MPK Wrocław				
Typy autobusów	Ikarus 280.70E	Jelcz	Volvo	Mercedes-Benz	Solaris Urbino
Liczba autobusów, -	5	55	174	102	29
Średnia wieku, lata	19	18,7	12,4	5,7	1,2
Liczba zdarzeń drogowych, -	5	46	194	163	7
Liczba zdarzeń drogowych na 100 000 km	5,696	1,2301	1,639	0,972	0,965
Sumaryczne przebiegi poszczególnych grup autobusów, km	87 777	2 754 920	8 923 697	7 326 791	651 361
Operator	MPK Wrocław - autobusy Mercedes-Benz i Jelcz 120 MM				
Typy autobusów	O530 K Citaro	O530 Citaro	O530 G Citaro	O530 G Citaro 2	Jelcz 120MM
Liczba autobusów, -	1	58	42	1	8
Średnia wieku, lata	3,1	5,7	5,7	3,1	18,7
Liczba zdarzeń drogowych, -	1	93	67	2	6
Liczba zdarzeń drogowych na 100 000 km	1,519	2,068	2,473	3,648	1,517
Sumaryczne przebiegi poszczególnych grup autobusów, km	65 818	4 496 745	2 709 404	54 824	395 631

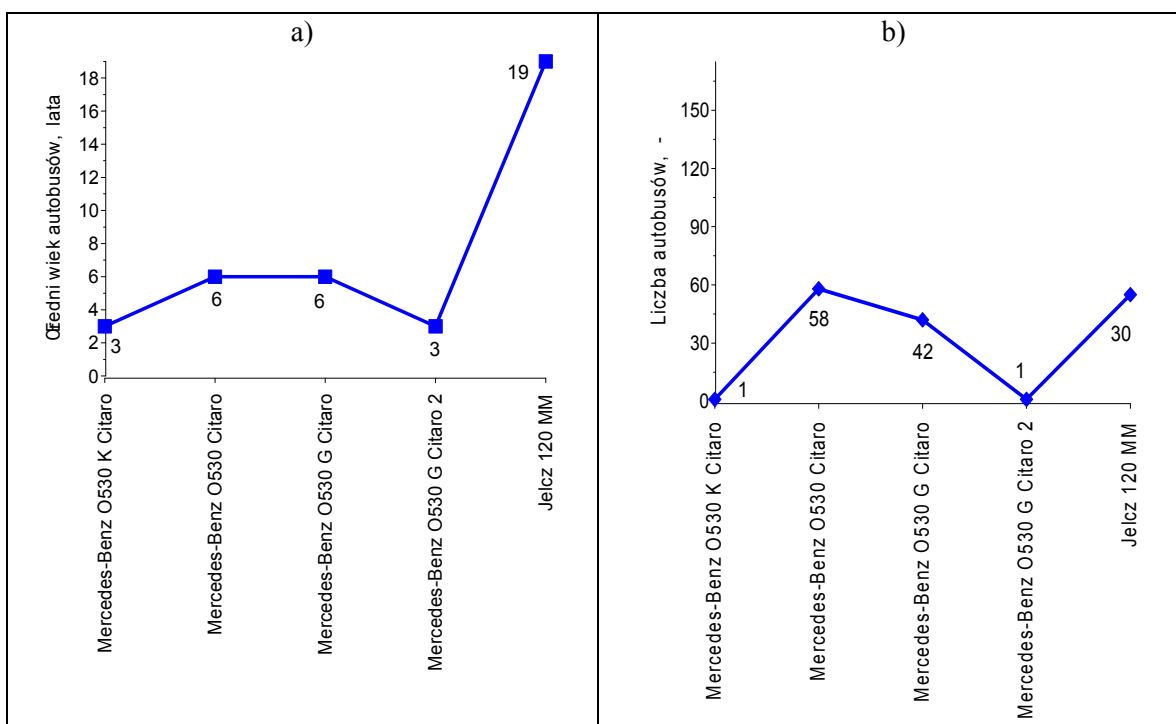
wyjaśnieniem tych wartości może być ich zakład produkcyjny i dokonana zmiana konstrukcji. Oczywiście 18,7 roczne autobusy Jelcz 120MM w MPK Wrocław, miały nieporównywalnie większą uszkodzalność, $W_1=2,02$.

Zdecydowanie najmniejsza liczę uszkodzeń układów mają autobusy Mercedes-Benz Citaro w MPK Wrocław. Wskaźnik W_2 , wynosił, bowiem 0,01-0,03. Z kolei wszystkie układy autobusu Jelcz 120MM charakteryzują się większą liczbą uszkodzeń. Wskaźnik W_2 ma zakres zmienności 0,04-0,55 (rys. 6a). Jednak prawdopodobieństwo uszkodzenia układów $P(U^*)$: elektrycznego, kierowniczego, jezdnego, silnika i zawieszenia autobusów Jelcz 120MM jest korzystniejsze (rys. 6b). Autobusy Mercedes-Benz Citaro przewyższają jedynie autobusy Jelcz 120MM, pod względem mniejszego prawdopodobieństwa uszkodzenia układów: hamulcowego, napędowego i nadwozia. Niekorzystnym jest, w autobusach Mercedes-Benz, bardzo duże prawdopodobieństwo uszkodzeń układu elektrycznego $P(U^*)=0,25-0,35$, hamulcowego $P(U^*)=0,16-0,23$ oraz silnika $P(U^*)=0,17-0,23$, zwłaszcza biorąc pod uwagę cenę tych komponentów w porównaniu z autobusem Jelcz 120MM. Z dużej wartości uszkodzeń, analizowanych układów autobusów miejskich, jedynie uszkodzalność układu hamulcowego stwarza wysokie zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego O .

Oceny poziomu zagrożenia działania systemu transportu MPK Wrocław, na podstawie wartości poziom zagrożenia działania autobusu W_3 , oraz wartości poziom zagrożenia działania autobusu W_4 , charakteryzuje rysunek 7b. Prezentacje wyników prowadzonych analiz kończy rysunek 8, porównujący procentowy udział uszkodzeń układów autobusów: Mercedes-Benz Citaro O530 Citaro oraz Jelcz 120 MM, jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław.



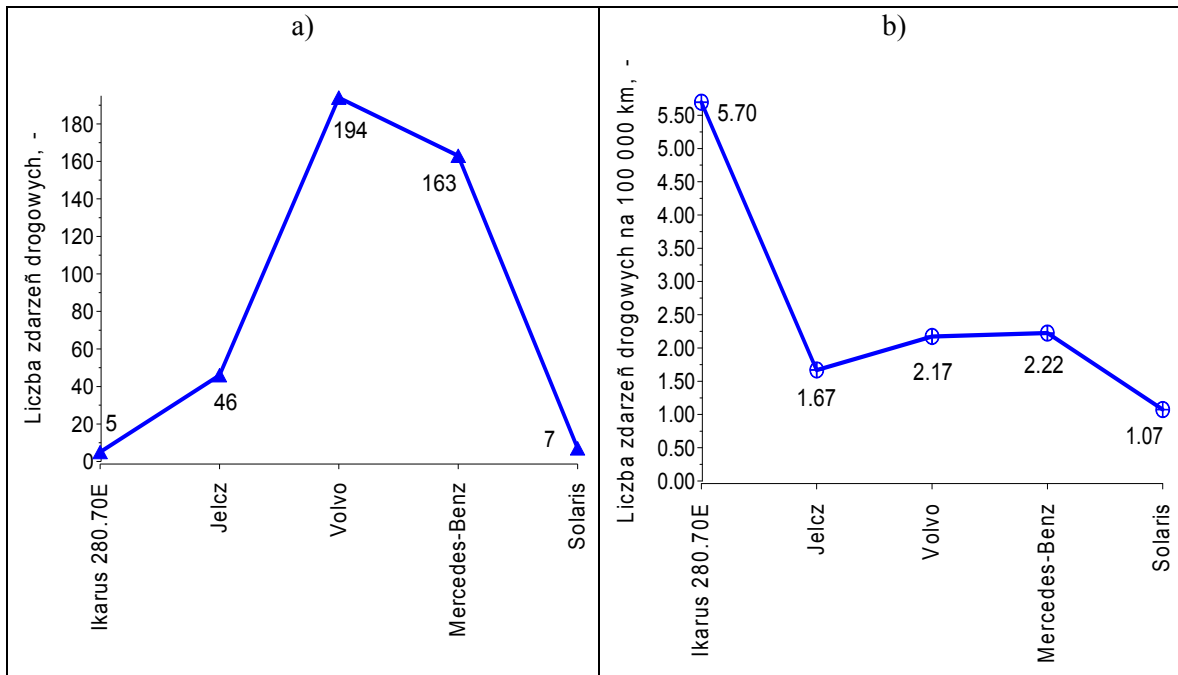
Rys. 1. Charakterystyka eksploatacyjna autobusów w MPK Wrocław: a) średni wiek, b) liczba autobusów w grupie



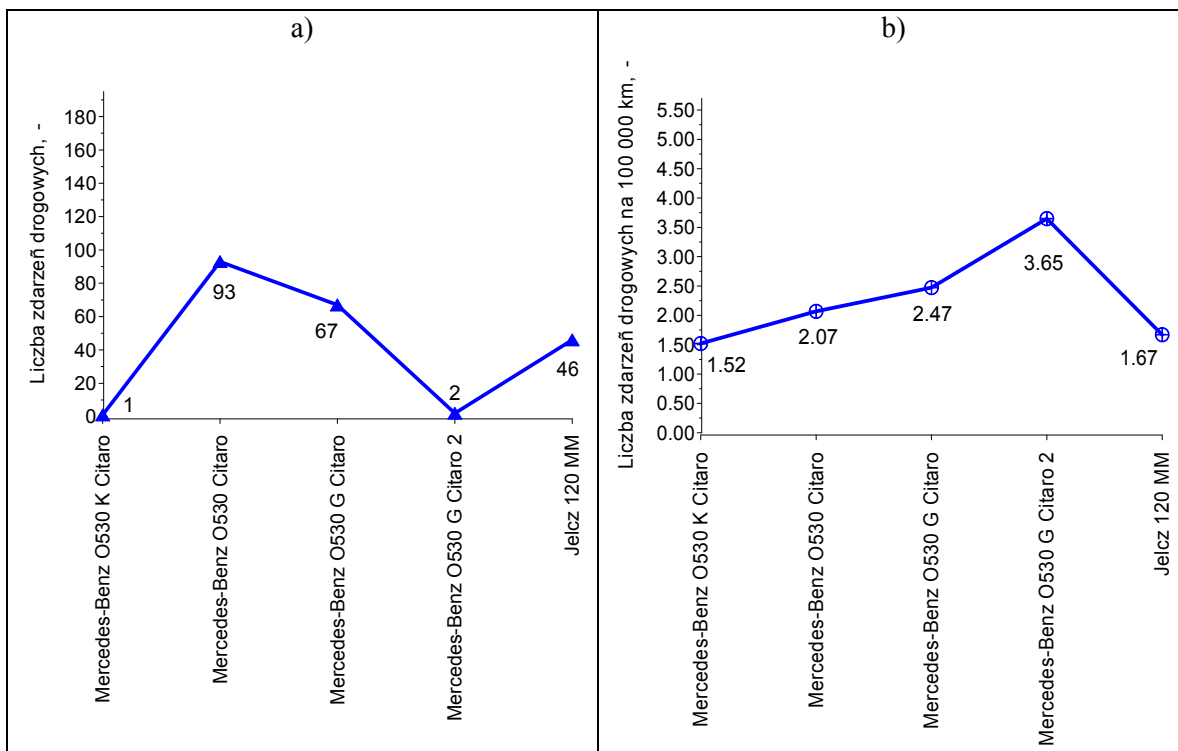
Rys. 2. Charakterystyka eksploatacyjna autobusów Mercedes-Benz i Jelcz 120MM w MPK Wrocław: a) średni wiek, b) liczba autobusów w grupie

Z wartości zamieszczonych na rysunkach 3 i 4 wynika, iż najmniejszą liczbę wypadków i kolizji na 100 000 km, w MPK Wrocław, mają autobusy Solaris, Jelcz, zbliżoną Volvo i Mercedes-Benz natomiast największą, najstarsze Ikarus. Jest interesującym, że autobusy Jelcz mimo średniego wieku 18,7 lat (tab. 1) przewyższają bezpieczeństwem bardzo nowoczesne, młodsze i bogato wyposażone techniką bezpieczeństwa czynnego i biernego konstrukcje Volvo i Mercedes-Benz. Jest także zaskakującym porównywalna liczba zdarzeń drogowych autobusów Volvo i Mercedes-Benz Citaro, pomimo dwukrotnej różnicy wieku, starsze są autobusy Volvo, jak i znacznie większej ich liczby.

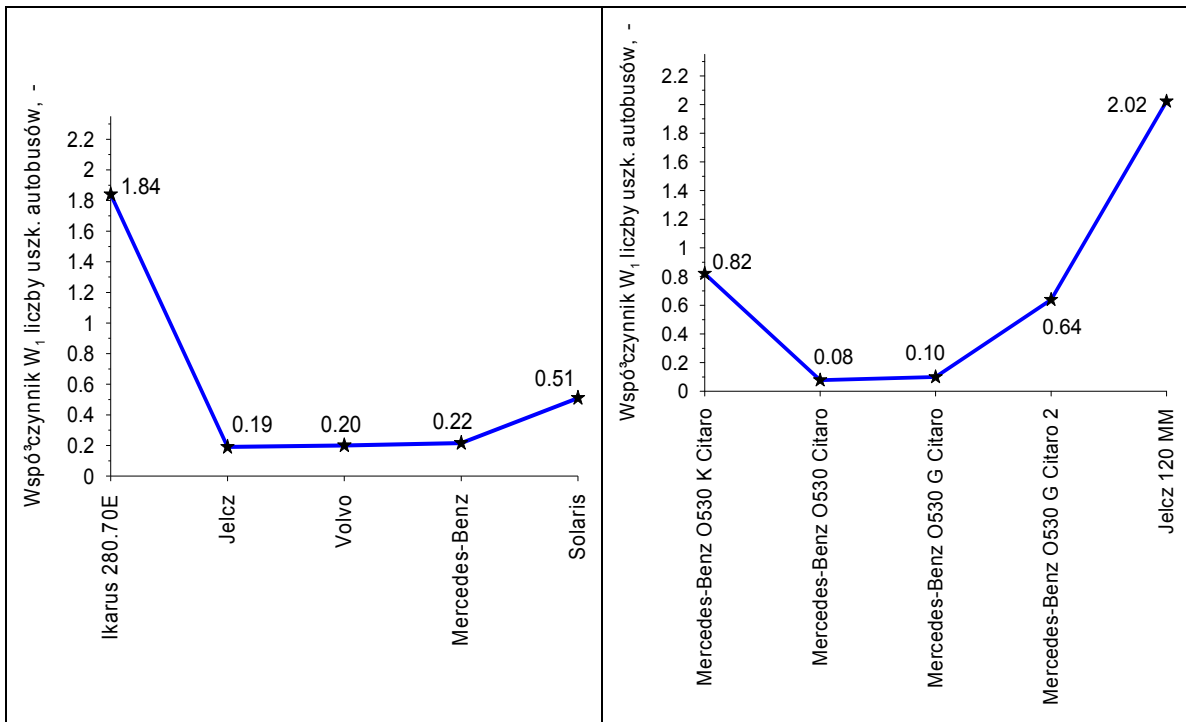
W 2014 roku były bardzo niekorzystne wartości poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu wynikłe z uszkodzenia układu autobusu W_3 jak i W_4 dla nowoczesnych autobusów Mercedes-Benz Citaro w MPK Wrocław (rys. 7). Wartości wskaźników poziomu zagrożenia działania podstawowych liniowych autobusów Mercedes-Benz Citaro wynosiły bowiem $W_3=0,01-2,46$ i $W_4=0,08-0,41$. W porównaniu z autobusem Jelcz 120MM jest to całkowicie zaskakujące, tutaj wynoszą wielokrotnie mniej, $W_3=0,02-0,07$ i $W_4=0,001-0,02$.



Rys. 3. Charakterystyka eksploatacyjna typów autobusów w MPK Wrocław: a) liczba zdarzeń drogowych, b) liczba kolizji i wypadków na 100 000 kilometrów przebiegu

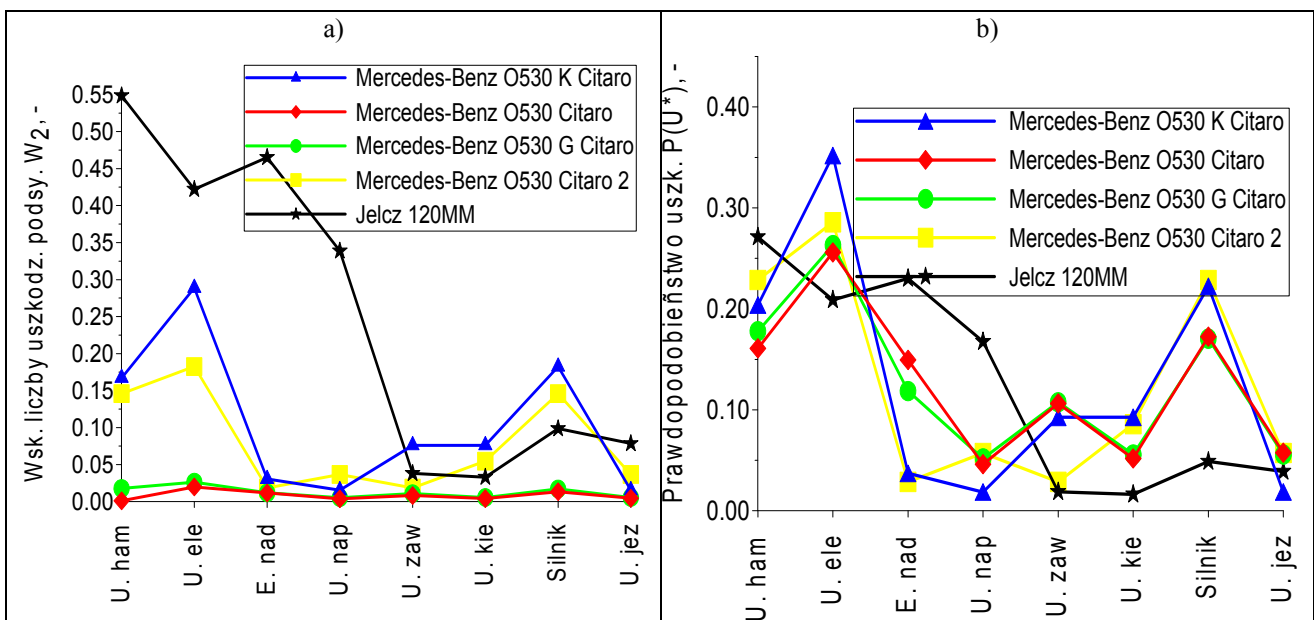


Rys. 4. Charakterystyka eksploatacyjna autobusów Mercedes-Benz i Jelcz 120MM w MPK Wrocław: a) liczba zdarzeń drogowych, b) liczba kolizji i wypadków na 100 000 kilometrów przebiegu

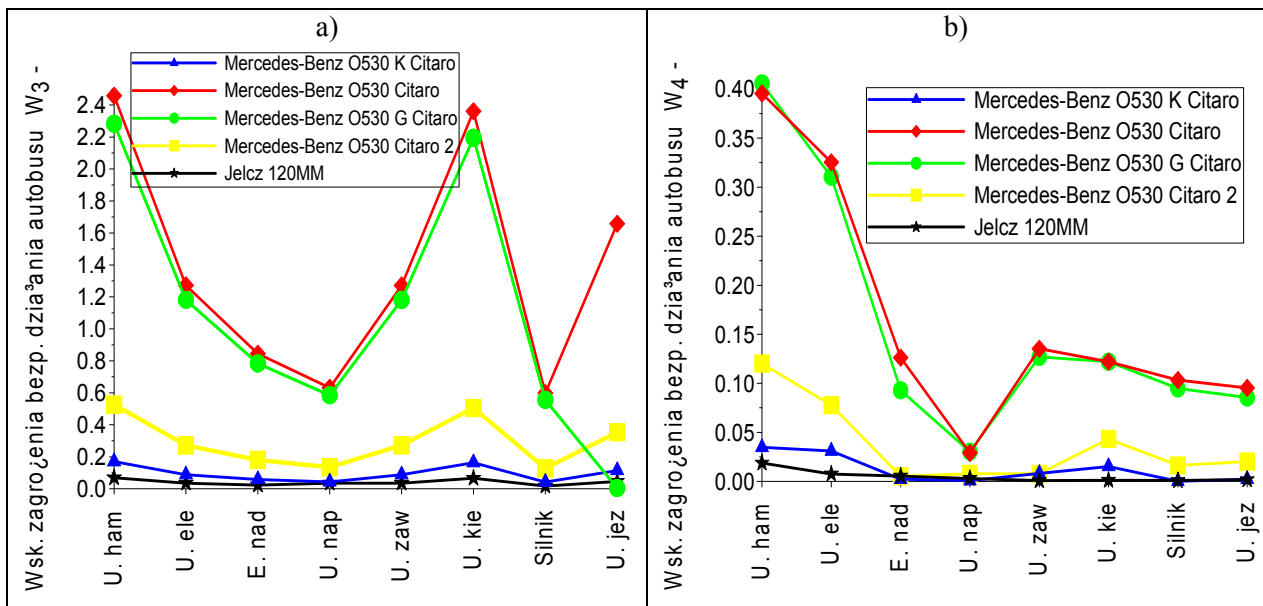


Rys. 5. Wartości wskaźników W_1 liczby uszkodzeń autobusów operatora MPK Wrocław

Bardzo niepokojącym jest, iż zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego, autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro i G Citaro, wynika z uszkodzeń układów o największym zagrożeniu bezpieczeństwa systemu transportowego O - hamulcowego, kierowniczego i jezdny. Układ hamulcowy ma bowiem wskaźnik poziomu zagrożenia systemu transportowego $W_3=2,28-2,46$, układ kierowniczy $W_3=2,20-2,36$ oraz jezdny $W_3=1,66$ (ten ostatni tylko dla Mercedes-Benz O530 Citaro). Również wskaźnik poziomu zagrożenia

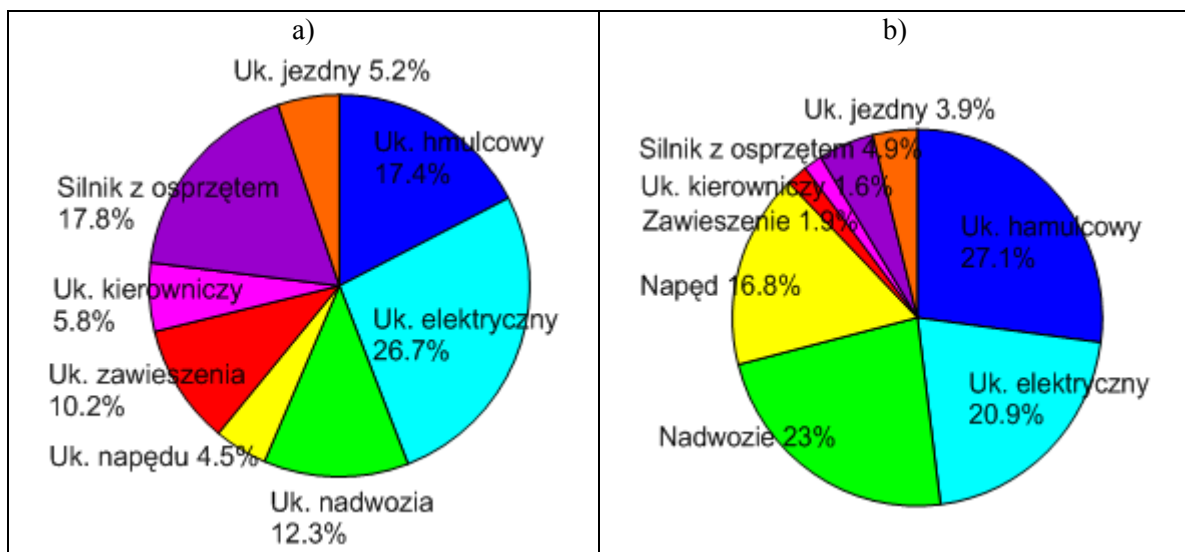


Rys. 6. Wartości wskaźników niezawodności autobusów Mercedes-Benz i Jelcz 120MM operatora MPK Wrocław: a) liczby uszkodzeń wybranego układu autobusu W_2 , b) prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanych układów autobusu $P(U^*)$



Rys. 7. Wartości wskaźników poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu dla autobusów Mercedes-Benz i Jelcz 120MM, operatora MPK Wrocław, wynikłego z uszkodzeń układu autobusu w ciągu 1 roku: a) W_3 , b) W_4

bezpieczeństwa systemu transportowego wywołany intensywnością uszkodzeń układu autobusu, Mercedes-Benz O540 Citaro i O530 G Citaro, w ciągu jednego roku, W_4 , jest dla tych podsystemów był bardzo niekorzystny. Wynosił bowiem dla układu hamulcowego $W_4=0,40-0,41$, układu kierowniczego $W_4=0,12$ i układu jezdnego $W_4=0,09-0,10$ (rys. 7). Tym samym w porównaniu z autobusami Jelcz 120MM największe różnice, zagrożenia działania autobusu W_3 dotyczą układów: hamulcowego, kierowniczego, jezdnego oraz zawieszenia. Z kolei na podstawie wskaźnika W_4 największe różnice tych dwóch grup autobusów dotyczą układów: hamulcowego, elektrycznego, kierowniczego, zwieszania, jezdnego i silnika. Wzrost poziomu zagrożenia działania autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro i O530 G Citaro, wynikły z uszkodzenia podsystemu jest bardzo wysoki i wynosi od 8,3 do 47,9 razy w porównaniu z Jelcz 120MM. Zagrożenie działania autobusu Citaro jest jedynie porównywalne z Jelcz 120MM dla układu przeniesienia napędu, lecz także gorsze. Oczywiście przyjęto do obliczeń, ze względów porównawczych, jednakowy dla tych autobusów stopień zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego O poprzez uszkodzenie układu konstrukcyjnego autobusu. Rysunek 8 przedstawia procentowy udział uszkodzeń układów autobusów jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław. Procentowy udział uszkodzeń



Rys. 8. Procentowy udział uszkodzeń układów autobusów jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław: a) Mercedes-Benz O530 Citaro, b) Jelcz 120MM

układu hamulcowego autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro oraz Jelcz 120MM wykazuje największą różnicę w przyczynach powstawania kolizji i wypadków. Suma podanych wartości, czyli 100%, dotyczy kolizji i wypadków autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro (rys. 8a) i autobusów Jelcz 120MM (rys. 8b). Uszkodzenia układu zawieszenia, kierowniczego, jezdnego, elektrycznego i silnika Citaro wywołują większe zagrożenie bezpieczeństwa drogowego niż uszkodzenia analogicznych układów autobusu Jelcz 120MM. Z kolei korzystniejsze wartości procentowe dotyczą układu hamulcowego i napędowego.

PODSUMOWANIE

Analizowane autobusy Mercedes-Benz Citaro charakteryzują się bardzo małą i korzystną uszkodzalnością, określaną wskaźnikiem liczby uszkodzeń autobusów W_1 i ich układów konstrukcyjnych W_2 na 1000 km. Znalazło to bardzo duże uznanie przewoźników, o czym świadczy wysoka ich sprzedaż. Wskaźniki W_1 i W_2 są jednak wysoko zróżnicowane dla poszczególnych modeli autobusów, jak i zależą od generacji rozwiązania i wytwórni, co wynika z ich wartości w MPK Wrocław i MPK Rzeszów. W MPK Wrocław, autobusy dwuosiove Mercedes-Benz O530 Citaro i przegubowe Mercedes-Benz O530 G Citaro miały w 2014 roku zbliżone i korzystne wartości wskaźnika liczby uszkodzeń zespołów na 1000 km, $W_2=0,01-0,04$.

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ układu nowoczesnego autobusu Mercedes-Benz Citaro w MPK Wrocław, niewiele odbiega od jego wartości dla autobusu Jelcz 120MM. Ma nawet mniej korzystne wartości dla 5 układów: elektrycznego, silnika, zawieszenia, kierowniczego i jezdnego. Z kolei tak wyznaczone prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia układów, $P(U^*)$, jest korzystne i bardzo małe w MPK Rzeszów, dla układów hamulcowego, napędowego, zawieszenia, jezdnego i silnika autobusów Mercedes-Benz Citaro 12 ON i CNG. Z kolei niekorzystne dla układu elektrycznego i napędowego, w porównaniu z autobusami Jelcz 120 M/4 CNG, Solaris Urbino 12 CNG i Autosan Sancity 10 LF CNG.

Liczba zdarzeń drogowych jest zdecydowanie mniejsza dla starszych konstrukcji autobusów MPK Wrocław, zarówno, co do ich liczby jak i w przeliczeniu na 100 000 km przebiegu. We Wrocławiu 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. W Rzeszowie zaś, autobusy Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG zapewniają korzystniejsze bezpieczeństwo systemu transportu miejskiego niż autobusy Mercedes-Benz Citaro O530 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF CNG oraz Mercedes-Benz O530 Citaro 12 ON.

W 2014 roku w MPK Wrocław były bardzo wysokie i niekorzystne zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro i G Citaro, wynikające z uszkodzeń układów hamulcowego, kierowniczego i jezdnego. Układ hamulcowy miał bowiem wskaźnik poziomu zagrożenia systemu transportowego $W_3=2,28-2,46$, układ kierowniczy $W_3=2,20-2,36$ oraz jezdny $W_3=1,66$ (ten ostatni tylko dla Mercedes-Benz O530 Citaro). Również wskaźnik poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego wywołany intensywnością uszkodzeń układu autobusu, Mercedes-Benz O540 Citaro i O530 G Citaro, w ciągu jednego roku W_4 był dla tych podsystemów bardzo niekorzystny. Wynosił bowiem dla układu hamulcowego $W_4=0,40-0,41$, układu kierowniczego $W_4=0,12$ i układu jezdnego $W_4=0,09-0,10$. Wzrost poziomu zagrożenia działania autobusów Mercedes-Benz O530 Citaro i O530 G Citaro, wynikły z uszkodzenia układu jest bardzo wysoki i wynosi od 8,3 do 47,9 razy w porównaniu z autobusami Jelcz 120MM.

Procentowy udział uszkodzeń układów autobusów Mercedes-Benz O500 Citaro i autobusów Jelcz 120MM jako przyczyna powstawania kolizji i wypadków w MPK Wrocław wskazuje iż uszkodzenia układu zawieszenia, kierowniczego, jezdnego, elektrycznego i silnika autobusu Citaro wywołują większe zagrożenie bezpieczeństwa drogowego niż uszkodzenia analogicznych układów autobusu Jelcz 120MM. Korzystniejsze wartości procentowe autobusów Mercedes-Benz O500 Citaro dotyczą układu hamulcowego i napędowego.

Nowoczesne autobusy Volvo, 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. Istotnym w transporcie autobusowym miejskim jest także wpływ niezawodności zespołów autobusu na bezpieczeństwo publicznego transportu miejskiego w tym także 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, 225-233.
- [3] Analiza przepustowości szlaków komunikacyjnych Aglomeracji Wrocławskiej oraz badanie potrzeb transportowych przedsiębiorców Aglomeracji Wrocławskiej. Program Central Europe, Wrocław 2012.
- [4] Cafuso S., Di Graziano A., Pappalardo G.: Road safety issues for bus transport management. *Accident Analysis & Prevention* 60, 2013, s. 324-333.
- [5] Drożdziel P., Komsta H., Rybicka I.: Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. *Logistyka* 3, 2012, 498-506.
- [6] Drożdziel P., Opielak M., Rybicka I.: Bezpieczeństwo transportu pasażerskiego w komunikacji miejskiej. *Logistyka* 3, 2012, 513-520.
- [7] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2008.
- [8] 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.
- [9] SafetyNet Work Package 3. State-of-the-art Report on Road Safety Performance Indicators. SafetyNet 2005.
- [10] 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, 55-65.
- [11] Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2011.
- [12] 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, 71-180.
- [13] Krystek R. (red.): Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.1, T.2, T.3. WKiŁ, Gdańsk 2009, 2010.
- [14] Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Rzeszowie nt. wpływu uszkodzeń autobusów na bezpieczeństwo transportu miejskiego z roku 2014. Materiały wewnętrzne, niepublikowane.
- [15] Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Wrocławiu nt. wpływu uszkodzeń autobusów na bezpieczeństwo transportu miejskiego z roku 2014. Materiał wewnętrzne, niepublikowane.
- [16] Mariański M.: Autokary wielkiej turystyki. *Transport Technika Motoryzacyjna*, 7/8, 2010, 66-73.
- [17] Michalski J.: Bezpieczeństwo autobusów i transportu zależne od uszkodzeń eksploatacyjnych wybranych układów. Національний Транспортний Університет Київ, Висник Національного Транспортного Університету, Науково-технічний збірник, Київ, 30, 2014, s. 265-277.
- [18] Najwyższa Izba Kontroli, Departament komunikacji i systemów transportowych. Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, 2011 r. www.nik.gov.pl
- [19] Oprządkiewicz J.: Niezawodność maszyn. Skrypty Uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1981.
- [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-EN 61703:2005 – Wyrażenia matematyczne dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005.

[22] Polska Norma: PN-N-50191:1993 - Słownik terminologiczny elektryki - Niezawodność, jakość usługi. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1993.

[23] Polska Norma: PN-S-47010:1999 - Pojazdy drogowe, autobusy - wymaganie podstawowe. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1999.

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

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

[26] 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).

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

[28] 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.

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

[30] Traktaty. Wersja skonsolidowana. Karta praw podstawowych. Unia Europejska, PL marzec 2010.

[31] Warczeńska B., Mastalska-Cetera B.: Charakterystyka wrocławskiego obszaru metropolitalnego ze szczególnym uwzględnieniem systemu przyrodniczego. Acta Universitatis Lodzianis Folia Oeconomica, 245, 2010, 157-167.

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

[33] Witaszek M., Witaszek K.: Porównanie emisji dwutlenku węgla dla różnych rodzajów transportu. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport, z. 88, 2015, 145-153.

[34] World Economic Forum: – Repowering transport. Project white paper. World Economic Forum, Geneva, Switzerland 2011.

STRESZCZENIE

MICHALSKI Jacek. Niezawodność i bezpieczeństwo autobusów komunikacji miejskiej Wrocławia / MICHALSKI Jacek // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2016. – № 35.

W artykule przedstawiono niezawodność i bezpieczeństwo autobusów miejskiej komunikacji samochodowej Wrocławia ocenioną na podstawie wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia autobusów $P(U^*)$, względnej liczby uszkodzeń autobusów W_1 i ich podzespołów W_2 na 1000 km. Określono metodą ekspercką istotności wpływu uszkodzeń układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego O . Zbadano poziomy zagrożenia bezpieczeństwa transportu wynikający z liczby kolizji i wypadków oraz liczby uszkodzeń układu autobusu w ciągu jednego 2014 roku za pomocą wskaźników W_3 i W_4 . Wzięto pod uwagę autobusy; Jelcz 120MM, Mercedes-Benz O530 Citaro, Mercedes-Benz O530 G Citaro i inne.

РЕФЕРАТ

МІХАЛЬСКИ Яцек. Надійність і безпека міського автобусного транспорту у Вроцлаві / МІХАЛЬСКИ Яцек // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 2 (35).

У статті представлена оцінка надійності і безпеки автобусів міського сполучення транспортної системи Вроцлава. Оцінювання проводилося із врахуванням вартості ймовірного пошкодження автобусів $P(U^*)$, відносного числа пошкодження автобусів W_1 і їх компонентів W_2 на 1000 км. Експертним методом визначено значимість впливу пошкодження на безпеку транспортної системи O . Проаналізовано кількість автобусних пошкоджень протягом 2014 року з використанням показників W_3 і W_4 і виявлено, що рівень загрози безпеки на транспорті зростає у зв'язку із збільшенням кількості зіткнень і аварій. Jelcz 120MM, Mercedes-Benz Citaro O530, O530 Mercedes-Benz Citaro G і інші автобуси були взяті до уваги при вивченні даного питання.

ABSTRACT

MICHALSKI Jacek. Reliability and safety of urban bus transport in Wrocław. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2016. – Issue 2 (35).

The article presents the reliability and safety of bus communication system in Wrocław assessed on the basis of the likelihood of bus damages $P(U^*)$, the relative number of bus defects W_1 and their components W_2 per 1000 km. The significance of the impact of damage to the bus system security of the transport system O was determined by expert method. The threat level of transport safety due to the number of collisions and accidents and the number of bus damages during 2014 year using indicators W_3 and W_4 were examined. Jelcz 120MM, Mercedes-Benz Citaro O530, O530 Mercedes-Benz Citaro G and other buses were taken into account.

AUTOR:

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

АВТОР:

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

AUTHOR:

MICHALSKI Jacek, 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.

Добржанська М., кандидат технічних наук, Жешовська політехніка, доцент кафедри кількісних методів, Жешув, Польща.

REVIEWERS:

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

Dobrzanska M., Ph.D., Rzeszow University of Technology, Assistant Professor of Department of Quantitative Methods, Rzeszow, Poland