

# BEZPIECZEŃSTWO MIEJSKIEJ KOMUNIKACJI AUTOBUSOWEJ W OKRESIE ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO TRANSPORTU PUBLICZNEGO RZESZOWA W LATACH 2013-2016

*Artykuł jest próbą odpowiedzi na pytanie jak zaawansowane technologie zastosowane we współczesnych autobusach miejskich, znajdują odzwierciedlenie w rzeczywistej redukcji liczby zdarzeń drogowych i polepszeniu bezpieczeństwa użytkownika. Zbadano poziom zagrożenia bezpieczeństwa transportu wynikający z liczby kolizji i wypadków oraz liczby uszkodzeń układów autobusu w okresie 2013-2016 r. wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu publicznego w Rzeszowie. Ocenę przeprowadzono za pomocą wskaźnika  $W_3$ , charakteryzującego poziomu zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego wywołany intensywnością uszkodzeń układów autobusu w ciągu jednego roku oraz jego elementów: prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu  $P(U^*)$  oraz istotność wpływu uszkodzeń układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego  $O$ .*

## WSTĘP

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 [1, 2]. Także duże znaczenie ma strategia logistyczna uwzględniająca zarówno transport osobowy jak i towarowy oraz informacje z nimi związane, często za pomocą ITS (Inteligentne systemy transportowe) [3]. Głównym założeniem strategii zrównoważonego rozwoju jest dążenie do tego, by systemy transportowe spełniały gospodarcze, społeczne i środowiskowe potrzeby społeczeństwa, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ich niekorzystnych skutków dla gospodarki, społeczeństwa i środowiska. Celem zintegrowanego rozwoju logistycznego miasta jest często: redukcja liczby samochodów osobowych i towarowych o napędzie konwencjonalnym, poprawa efektywności transport towarowego, zachęcanie mieszkańców do korzystania ze środków transportu publicznego (zbiorowego) oraz ograniczenie zużycia energii i kosztów. Długofalowe kompleksowe, całościowe i zintegrowane strategie rozwoju logistyki miasta (strategie holistyczne) dotyczą: kongestii; urbanizacji; wspierania rozwoju gospodarczego, migracji ludności, poprawy jakości życia i wzrostu populacji; starzejącego się społeczeństwa; wewnętrznej mobilności; poprawy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia; obniżenia poziomu hałasu; wzrostu niedoboru paliw kopalnianych i ich wysokiej ceny; wzrostu możliwości przewozowych i liczby samochodów na świecie (z około 700 mil obecnie do ponad 3 mld w 2050 roku); zmniejszenia wpływu transportu na zmiany klimatyczne poprzez: zmniejszenie o połowę liczby samochodów o napędzie stosującym niehybrydowe silniki spalinowe w transporcie miejskim do 2030 r., eliminację pojazdów o napędzie konwencjonalnym z miast do 2050 r., osiągnięcie wolnej od emisji  $CO_2$  logistyki w dużych ośrodkach miejskich do 2030 r., zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 60%, zanieczyszczenia powietrza także pyłem - zwłaszcza o wielkości  $PM_{10}$ ; innowacyjne konkurencje, zasobooszczędne rozwiązania dla transportu miejskiego; przejście na pełne zastosowanie zasad „użytkownik płaci” i „zanieczyszczający płaci”;

uzyskanie prawie zerowej liczby ofiar śmiertelnych w transporcie drogowym do 2050; zmiany demograficzne [4, 5, 6]. Transport publiczny nie jest regulowany postanowieniami karty praw podstawowych Unii Europejskiej (UE) [7]. Między Państwami Członkowskimi UE stosowane są kompetencje dzielone do transportu kolejowego, drogowego i żeglugi śródlądowej [8]. Transportu publicznego winien także zapewnić bezpieczeństwo osobiste pasażerów, rozumiane, jako brak ryzyka jakiegokolwiek naruszenia nietykliwości osobistej lub mienia ze strony innych uczestników [2, 9]. W transporcie miejskim jednym z najważniejszych elementów procesów zarządzania jest kontrola i zapewnienie możliwie najwyższej jakości usługi [10]. Wiązą się one z nadzorowaniem i korygowaniem stanów rzeczy oraz realizowanych procesów, w celu zapewnienia ich przyszłej sprawności.

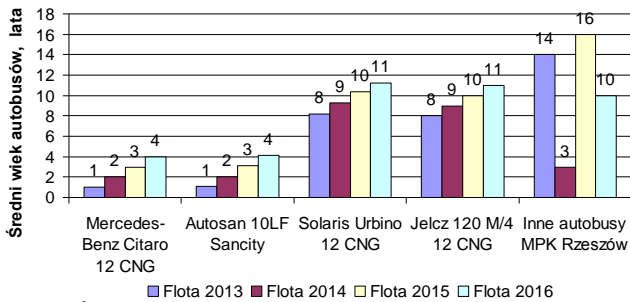
Statystycznie w UE autobus jest zdecydowanie najbardziej bezpiecznym pojazdem drogowym [10, 11]. Autobus komunikacji miejskiej jest także w Stanach Zjednoczonych, bezpiecznym środkiem transportu o znikomych stratach majątkowych i śmiertelności osób [12]. W miastach UE zdarza się 69% wypadków drogowych [4, 13]. Udział ruchu drogowego w wypadkach śmiertelnych UE stanowił transport: samochodowy 46,4%, motocyklowy 17,7%, rowerowy 6,6% i tramwajowy 3,3%. Łącznie cały transport drogowy to aż 74,4% liczby wypadków śmiertelnych. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w 2016 roku, w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców, w Polsce to 79. Największy wskaźnik UE wystąpił w Bułgarii, wynosił 99 [14]. W Polsce, od 1991 do 2016 roku, zmniejszyła się o 60% liczba ofiar śmiertelnych transportu drogowego [15]. Główne problemy bezpieczeństwa ruchu drogowego w kraju pozostają niezmiennione: niebezpieczne zachowanie użytkowników dróg, słabo rozwinięty system zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego i niska jakość infrastruktury drogowej. Spośród wszystkich ofiar śmiertelnych w Europie liczba ofiar wypadków autobusowych i autokarowych wyniosła 0,3-0,5%. W krajach OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ryzyko osób śmiertelnych lub poważnie rannych było o siedmiu do dziewięciu razy mniejsze, w przypadku pasażerów autobusów i autokarów w porównaniu z pasażerami samochodów. W Wielkiej Brytanii wiek

pasażera i manewr autobusu są powiązane ze stopniem ciężkości obrażeń, zarówno dla pasażerów stojących, siedzących jak i wsiadających/wysiadających [16]. Najważniejszymi przyczynami tragicznych wypadków drogowych w Polsce, według Najwyższej Izby Kontroli [17] są: niedostateczna infrastruktura drogowa i jej przystosowanie 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 [18, 19], czynniki drogowe mają największy wpływ na bezpieczeństwo ruchu. Jamroz [20] stwierdza, iż liczba wypadków silnie liniowo zależy od parytetu siły nabywczej, liczby pojazdów oraz pracy przewozowej. Jak wykazano w publikacji [21] 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 [22]. Pomimo faktu, że wypadki śmiertelne były częściej spotykane na drogach międzymiastowych, zdecydowana większość wypadków autobusów i autokarów wystąpiła na drogach miejskich w suchych warunkach pogodowych [11]. Wsiadanie i wysiadanie spowodowało około jedną trzecią wszystkich przypadków obrażeń. Zderzenia były głównym czynnikiem powodującym szkody. Autobusy i autokary najczęściej zderzył się z samochodami. Niebezpieczni użytkownicy dróg uderzyli, w około 1/3 wszystkich przypadków kolizji, w autobus lub autokar. Najczęściej zderzenie pojazdów jest czołowe i prostopadłe (boczne) i także w tył autobusu. Wypadki drogowe autobusów są często typu przewrócenie się pojazdu (rollover). Zadaniem Wichra [23] udział procentowy przyczyn powstania wypadków drogowych jest następujący: podsystem zawieszenia 38%, podsystemy jezdny i hamulcowy po 25% oraz podsystemy kierowniczy i inne po 6%. Bezpieczeństwo autobusu i bezpieczeństwo drogi jest rozpatrywane jak bezpieczeństwo czynne i bezpieczeństwo bierno [24, 25]. Elementami kluczowymi autobusu ze względu na bezpieczeństwo jest układ podwozia i nadwozia [26]. Dane statystyczne wskazują, iż rozwiązanie technologiczne i stanu techniczny autobusu ma wpływ na ryzyko wypadku [27]. Rosnące wymagania prawne i wymagania klientów dotyczące biernego bezpieczeństwa autobusów muszą być spełnione w warunkach skróconych czasów rozwoju i redukcji kosztów [28]. Zwiększenie odporności autobusu na zdarzenia drogowe dotyczą w pierwszym rzędzie ulepszenia konstrukcji czołowej, ale również jego boków, tyłu jak i dachu. Szerokie spektrum nowych projektów konstrukcyjnych dotyczy wnętrza, zewnętrznego wykończenia, podwozia i napędu. Prowadzone są badania homologacyjne pojazdów w odniesieniu do ochrony osób przebywających w pojeździe w przypadku zderzenia czołowego [29], jak również symulacje, analizy i charakterystyki obciążenia dynamicznego pasażerów [30], deformacji, przemieszczenia struktury dla różnych ich prędkości występujących w zdarzeniach drogowych. Geometryczne, wytrzymałościowe i zmęczeniowe modelowanie struktury autobusu wymaga użycia pakietów CAE (Computer aided engineering). Konstrukcje współczesnych autobusów są pod tym względem niepoprawne [28]. W eksploatacji autobusów chodzi jednak o to, jak ten udział w rozwoju konstrukcji autobusu, znajdzie odzwierciedlenie w rzeczywistej poprawie bezpieczeństwa drogowego, w tym redukcji liczby wypadków drogowych [31]. Kierowcy wspierani przez pewną liczbę systemów i technologii doznają poczucie bezpieczeństwa i często stosują bardziej ryzykowny sposób prowadzenia pojazdów.

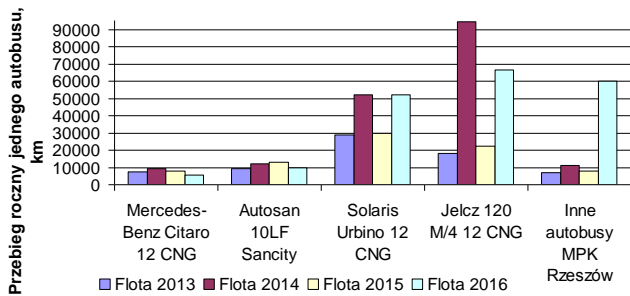
Za kluczowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu drogowego w UE uznano te, które dotyczą: alkoholu i narkotyków, prędkości,

systemów ochronnych, świateł do jazdy dziennej, budowy samochodu, drogi i zarządzania urazami [32]. Autobusy muszą być wyposażone w systemy bezpieczeństwa przyjezdne osobom niepełnosprawnym [33]. Zdaniem operatorów możliwe jest osiągnięcie wyższych standardów bezpieczeństwa autobusowego transportu publicznego [34, 35]. Wymaga to opracowania skuteczniejszych technologii dotyczących wspomaganie hamowania, zwłaszcza jego początku, automatycznego otwierania drzwi, monitorowania pojazdów, wewnętrznej konstrukcji i architektury autobusu (fotele, poręcze i stopnie) i nowych materiałów. Wykazano, że nieuwaga kierowcy autobusu i zmęczenie, senność, wsiadanie i wysiadanie pasażerów oraz przejścia dla pieszych, podczas przesiadki autobusowej, są najbardziej niebezpiecznymi elementami tego transportu. Jednak nie było jednomyślności co do wpływu, na bezpieczeństwo ruchu drogowego, systemów wspomaganie kierowcy i znaczenia innych systemów automatycznych. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń drogowych autobusów w Melbourne w Australii zmniejszone zostało poprzez przydzielanie mniej doświadczonym kierowcom krótszych i nowszych autobusów i wyznaczenie tras ruchu z priorytetem dla autobusu [36]. Istnieje możliwość polepszenia jakości miejskich usług autobusowych, dzięki jej niezawodności, poprzez zastosowanie odpowiedniej taktyki operacyjnej. Na przykład w Londynie, wykorzystano sygnały drogowe i jednoczesne zarządzanie opóźnieniami powodowanymi przez ruch uliczny [37]. Jedną z najważniejszych zalet usługi przewozu, wzdłuż sieci publicznej komunikacja autobusowej, jest jej niezawodność realizacji [38]. Regularność czasu przebytej drogi w sieci transportowej minimalizuje zmienność i czas oczekiwania pasażerów, poprawiając w ten sposób niezawodność usługi. Strategie kontroli w czasie rzeczywistym, które wyznaczają zalecany czas postoju autobusów na przystankach, ze względu na liczbę pasażerów oraz sugerują zachowanie kierowcy w przypadku wykrytych uszkodzeń elementów systemu konstrukcyjnego autobusu, pozwalają poprawić poziom usług oferowanych przez miejską komunikację autobusową a także skracając czas podróży i jej zmienność, zapewniając tym samym lepszą jakość i większą niezawodność usługi przewozu [39]. Bezpieczeństwo dla organizatora transportu publicznego powinno być kluczowym wskaźnikiem skuteczności [40]. Sugerowane jest tworzenie kultury organizatora, operatora i przewoźnika transportu publicznego w celu zwiększenia bezpieczeństwa pasażera, komfortu i dostępności. Urazy, głównie siniaki i niekiedy inne obrażenia, bez zdarzenia drogowego, są często nie zgłaszane operatorowi przez kierowców autobusów. Właściwa kultura organizacyjna czy korporacyjna winna określić priorytet bezpieczeństwa jako czynnika jakości, a nie tylko jako kluczowego wskaźnika skuteczności. Priorytetem powinna być poprawa kultury bezpieczeństwa dla wszystkich zainteresowanych stron i zmniejszenie urazów, zwiększenie wykorzystania autobusów oraz podniesienia jakości i komfortu podróży.

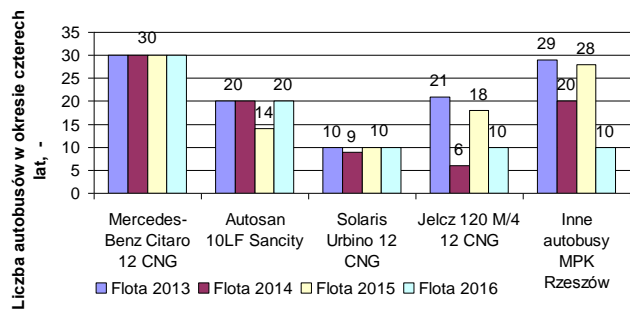
Transport drogowy w mieście odpowiedzialny jest za 40% emisji CO<sub>2</sub> i 70% emisji pozostałych zanieczyszczeń [6, 41]. Także, transport miejski powoduje około jedną czwartą emisji CO<sub>2</sub> z transportu ogółem. Limity emisji zanieczyszczeń w spalinach silników autobusów o zapłonie samoczynnym i zasilanych gazem LPG/CNG (Compressed natural gas/Liquefied petroleum gas) według normy Euro 6, na podstawie Europejskiego Testu Niestacjonarnego ETC (European transient cycle), wynoszą w [g/kWh]: CO=4,000, NMHC=0,160, CH<sub>4</sub>=0,500 (wyłącznie dla silników zasilanych gazem ziemnym), NO<sub>x</sub>=0,400, PM=0,010 (nie dotyczy silników zasilanych gazem) [42]. Jednak, aby normy emisji zapewniały rzeczywiste redukcje emisji, kluczowe znaczenie ma użycie odpowiedniego cyklu testowego, który odzwierciedla styl jazdy, warunki użytkowania na liniach miejskich w warunkach rzeczywistego ich wykorzystania [43]. Przeprowadzono pomiar związków szkodliwych spalin emitowanych



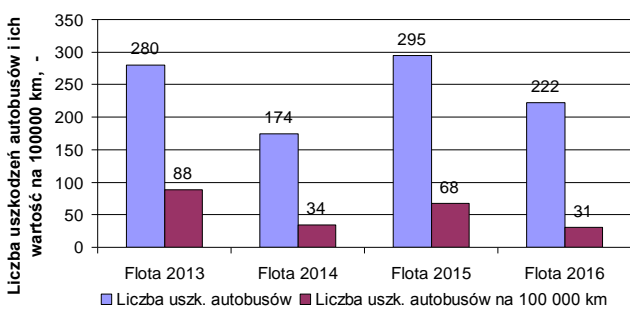
**Rys. 1.** Średni wiek analizowanych autobusów dla wyszczególnionych rodzajów i typów floty MPK Rzeszów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016



**Rys. 2.** Wartości przebiegu rocznego jednego autobusu floty MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016



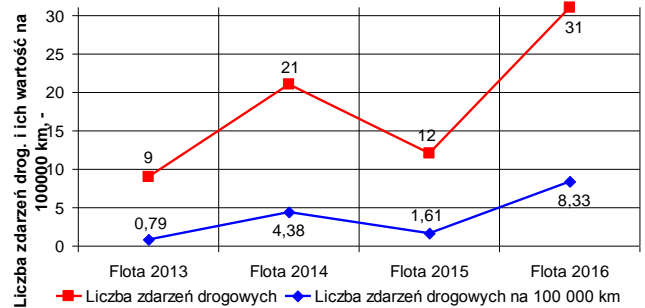
**Rys. 3.** Liczebność floty autobusów MPK Rzeszów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem ich rodzaju i typu



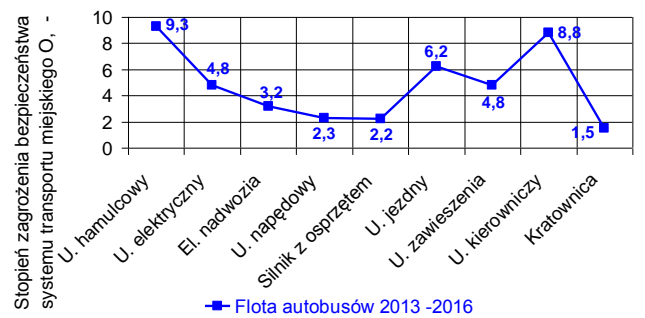
**Rys. 4.** Liczba uszkodzeń analizowanych systemów konstrukcyjnych wyszczególnionych rodzajów autobusów na 1000 km ich przebiegu w latach 2013, 2014, 2015 i 2016

przez autobus konwencjonalny i autobusy hybrydowe (układ napędowy równoległy i szeregowy) firmy Solaris z filtrem cząstek stałych DPF (Diesel particulate filter) i selektywną redukcją katalityczną SCR (Selective catalytic reduction) [44].

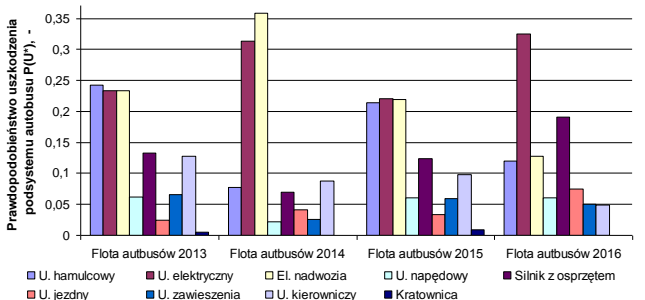
Stwierdzono, że wskaźnik emisyjności CO (tlenków węgla) autobusów hybrydowych jest mniejszy od jedności i znacznie mniejszy niż wskaźnik emisyjności CO autobusu konwencjonalnego Solaris.



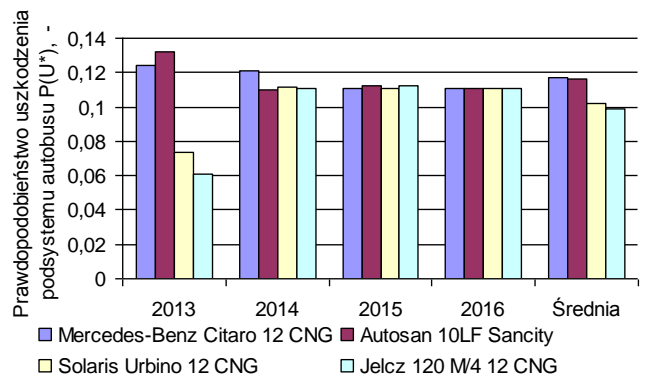
**Rys. 5.** Wartości średniej liczby kolizji i wypadków i ich wartość na 100 000 km przebiegu dla floty autobusu w latach 2013, 2014, 2015 i 2016



**Rys. 6.** Średnie wartości zagrożenia bezpieczeństwa O jakie stwarza uszkodzenie systemu autobusu na podstawie metody oceny ekspertów (zakres skali oceny od 1 do 10)



**Rys. 7.** Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia P(U\*) systemów konstrukcyjnych autobusów floty MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem wyodrębnionych układów i elementów



**Rys. 8.** Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia P(U\*) czterech podstawowych rodzajów autobusów w prowadzonej analizie z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wartości prawdopodobieństwa P(U\*) okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic

Wskaźnik emisji dla NO<sub>x</sub> (tlenków azotu) przekracza jednak dopuszczalny limit dla autobusów o napędzie konwencjonalnym (o wartości maksymalnej) 2,5-krotnie i dla autobusów hybrydowych nawet 4-krotnie. Badania przeprowadzono podczas rzeczywistego ich użytkowania za pomocą mobilnego systemu pomiaru związków szkodliwych w warunkach ruchu miejskiego Poznania, o możliwie najwierniejszym odwzorowaniu rzeczywistej wartości ruchu, zgodne ze średnim obciążeniem linii poznańskich. Silniki tych autobusów spełniały rygorystyczną normę EEV (Enhanced environmentally friendly vehicle). Określa ona limity emisji (g/kWh): masa tlenu węgla 1,5, masa węglowodorów 0,25, masa tlenków azotu 2, masa cząstek stałych 0,02 oraz zadymienie spalin 0,15 m<sup>-1</sup> [42]. Według tej normy test jezdny autobusy jest przeprowadzony z nieustaloną (zmienna): prędkością pojazdu, prędkością silnika i jego momentem obrotowym. Składa się z 1800 sekundowych faz jazdy na odcinku miejskim, międzymiastowym i autostradowym. W typowym cyklu jazdy autobusem w Pekinie (BJBC), autobusy miejskie napędzane CNG mają wyższe zużycie paliwa do autobusów diesla, ale porównywalną emisję CO<sub>2</sub> [45]. Stwierdzone także zmniejszone zużycie oleju napędowego autobusów hybrydowych, jednak ulega ono znacznemu pogorszeniu poprzez korzystanie z klimatyzacji.

## 1. WARUNKI BADAŃ

Objektem badań były autobusy eksploatowane w rzeczywistym systemie komunikacji miejskiej Rzeszowa i gmin: Krasne, Świlcza i Tyczyn. Natomiast przedmiotem badań był poziom zagrożenia bezpieczeństwa transportu wynikający z liczby kolizji i wypadków oraz liczby uszkodzeń układu autobusu. Wynika to z próby odpowiedzi na pytanie jak zaawansowane technologie zastosowane we współczesnych autobusach miejskich, wdrożenie projektu zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym, wraz z dedykowaną mu platformą teleinformatyczną ITS, zakupem nowoczesnego taboru autobusowego oraz przebudową i rozbudową lokalnego układu komunikacyjnego znajdują odzwierciedlenie w rzeczywistej redukcji liczby zdarzeń drogowych i polepszeniu bezpieczeństwa użytkowania autobusów miejskich. Badaniem objęto autobusy miejskie komunikacji publicznej, operatora Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Rzeszów Sp. z o.o. (MPK Rzeszów) z lat 2013, 2014, 2015 i 2016. Analizowano zarówno liczbę zdarzeń drogowych (wypadki, kolizje) jak i stopień zagrożenia bezpieczeństwa miejskiej komunikacji samochodowej wynikający z prawdopodobieństwa uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusów. Rozpatrywano wpływ systemów konstrukcyjnych autobusów: układ hamulcowy, układ elektryczny, elementy nadwozia, układ napędowy, silnik z osprzętem, układ jezdny, układ zawieszenia, układ kierowniczy i kratownica. Były to autobusy nowoczesne: Autosan M10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, autobusy nowoczesne zbliżone do konwencjonalnych Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG oraz dodatkowo inne: Solaris Urbino 12 ON (2013 i 2014 r.), Mercedes-Benz Citaro 12 ON (2014 r.) oraz Jelcz M125 M/4 CNG (2016 r.). Charakterystyczne wielkości autobusowej komunikacji miejskiej to: średni wiek autobusów rys. 1., wartości przebiegu rocznego jednego autobusu rys. 2, liczebność wyszczególnionych rodzajów i typów floty autobusów rys. 3, liczba uszkodzeń analizowanych systemów (podsystemów) konstrukcyjnych autobusów oraz ich wartość na 1000 km przebiegu rys. 4, liczba kolizji i wypadków i ich wartość na 100 000 km przebiegu rys. 5.

W celu oceny zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, *O*, jakie stwarzają uszkodzenia poszczególnych układów autobusów, przeprowadzono badania ankietowe metodą oceny eksperckiej (rys. 6). Ankiecie poddano grupy pracowników: mechanicy stacji obsługi, diagnosty, kierowcy autobusów, dyspozytorzy

ruchu autobusowego i brygadziści warsztatów obsługi i napraw, łącznie 100 osób. Istotność wpływu uszkodzenia układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa, oceniano w dziesięciostopniowej skali oceny:

- 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.

Do zgromadzenia liczby kolizji i wypadków drogowych spowodowanych przez autobusy, 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 zdadności badanych autobusów.

Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu wyznaczono z estymaty, na podstawie zależności [46, 47]:

$$P(U^*) = \frac{LU^*}{LU} \quad (1)$$

gdzie:

LU\* – liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu, w ciągu 1 roku,

LU – liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów, w ciągu 1 roku.

Tak wyznaczone prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanych systemów konstrukcyjnych autobusu zamieszczono dla wszystkich wyodrębnionych układów i elementów (rys. 7), czterech podstawowych rodzajów autobusów floty (rys. 8) oraz w układzie autobusy nowoczesne (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF CNG) i autobusy konwencjonalne (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) dla ich - systemów konstrukcyjnych (rys. 9), poszczególnych lat użytkowania (rys. 10), tylko układu hamulcowego jak i łączne; układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny (rys. 11). Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia dziewięciu systemów konstrukcyjnych dla pięciu grup autobusów MPK Rzeszów (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF, Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 ON) w poszczególnych latach 2013, 2014, 2015 i 2016 użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic obrazuje rys. 12.

Z kolei poziom zagrożenia działania autobusu, wynikający ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu (rys. 13-19), wyznaczono za pomocą wskaźnika *W<sub>3</sub>*. Wskaźnik *W<sub>3</sub>*, poziomu zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego miał postać:

$$W_3 = \frac{LZ}{LU^*} \cdot P(U^*) \cdot O \quad (2)$$

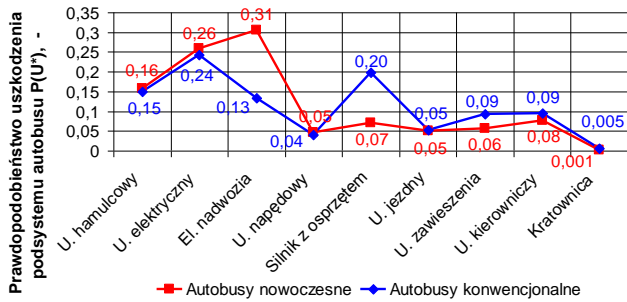
gdzie:

LZ – liczby zdarzeń drogowych (kolizji i wypadków), w analizowanym zbiorze autobusów,

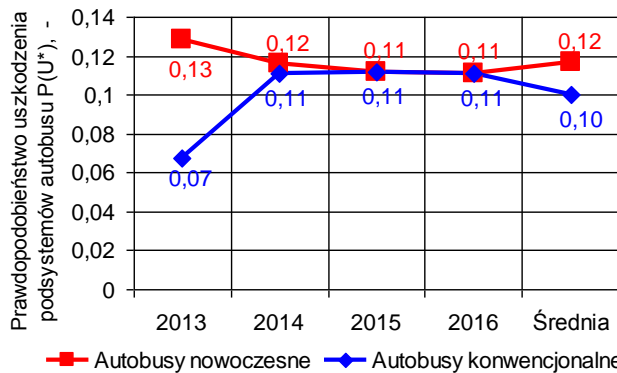
LU\* – liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu, w ciągu 1 roku,

*P(U\*)* – prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu,

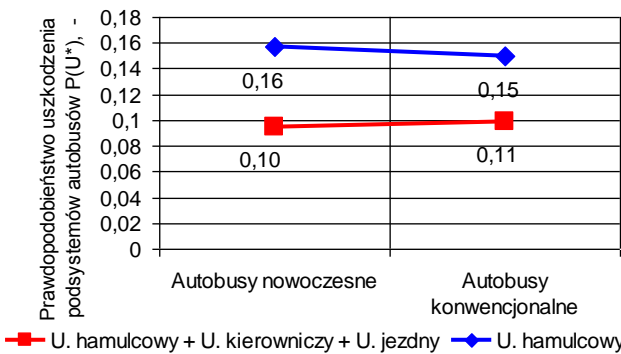
*O* – ocena stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, jakie stwarza uszkodzenie analizowanego zespołu konstrukcyjnego autobusu (zakres oceny od 1 do 10).



**Rys. 9.** Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia  $P(U^*)$  dziewięciu systemów konstrukcyjnych floty autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF CNG) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w okresie 2013-2016



**Rys. 10.** Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia  $P(U^*)$  łącznie wszystkich analizowanych systemów konstrukcyjnego floty autobusów nowoczesnych i autobusów konwencjonalnych w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem średniego prawdopodobieństwa  $P(U^*)$  okresu analizy 2013-2016

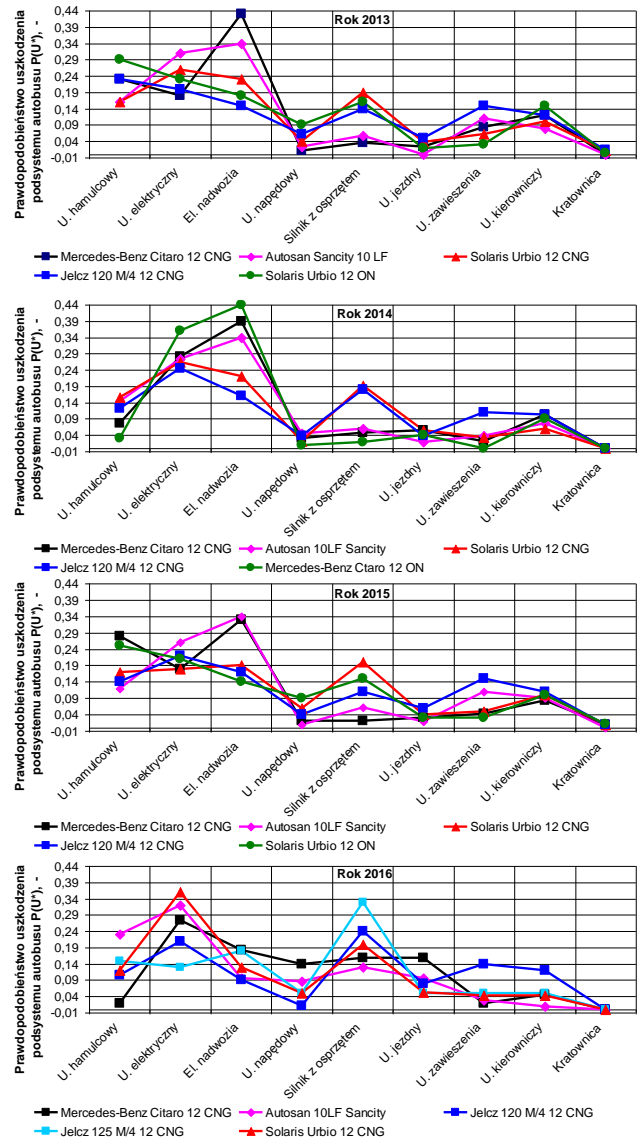


**Rys. 11.** Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia  $P(U^*)$  układu hamulcowego oraz prawdopodobieństwa  $P(U^*)$  łączne uszkodzonych układów hamulcowego, kierowniczego i jezdnego w okresie 2013-2016 użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic

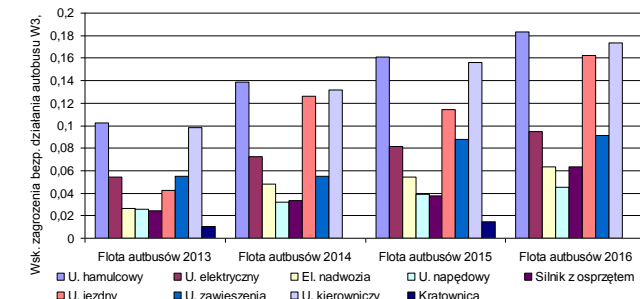
## 2. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Nowo zakupione autobusy mają znacznie mniejsze przebiegi roczne niż autobusy dotychczas użytkowane (rys. 2) oraz są liczniejsze (rys. 3). W kolejnych latach wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu miejskiego stwierdzono dla całej floty autobusów: zmieszenie liczby uszkodzeń analizowanych systemów konstrukcyjnych wyszczególnionych rodzajów autobusów jak i zwiększenie liczby zdarzeń drogowych, także w przeliczeniu na 1000 km ich przebiegu (rys. 4 i 5). Na podstawie oceny ekspertów, wysokie zagrożenia bezpieczeństwa miejskiego transportu autobu-

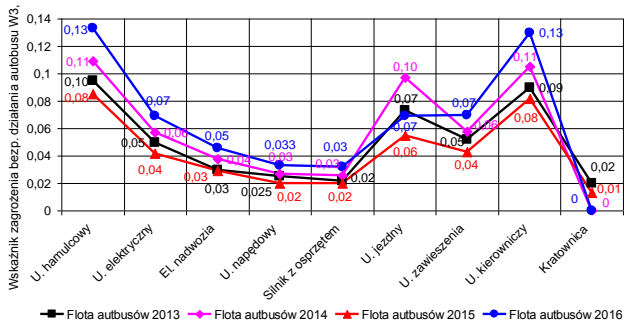
sowego, stwarza zwłaszcza uszkodzenie układu hamulcowego, kierowniczego, jezdny i zawieszania (rys. 6). Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia analizowanych systemów konstrukcyjnych autobusów  $P(U^*)$ , mają dużą zmienność w analizowanym okresie 2013-2016 (rys. 7). Duże prawdopodobieństwo



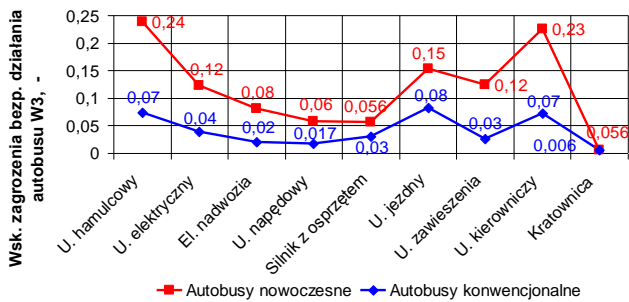
**Rys. 12.** Wartości prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia  $P(U^*)$  analizowanych pięciu grup autobusów MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 wynikłego z uszkodzeń ich dziewięciu systemów konstrukcyjnych



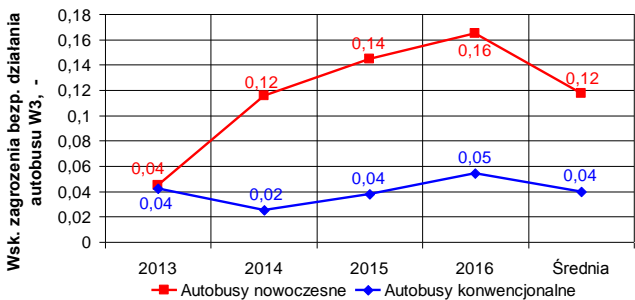
**Rys. 13.** Wartość wskaźnika  $W_3$  zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu autobusowego wynikły z uszkodzenia ich działania w ciągu jednego roku, dla floty autobusów MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem wyodrębnionych systemów



**Rys. 14.** Wartość wskaźnika  $W_3$  zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego, wynikłego z uszkodzenia działania systemów autobusu w ciągu jednego roku, dla floty autobusów MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem wyodrębnionych systemów konstrukcyjnych

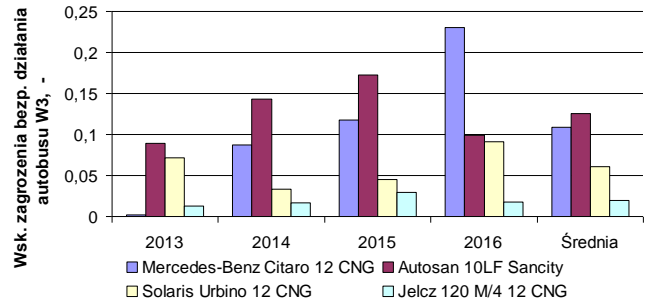


**Rys. 15.** Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu  $W_3$ , na podstawie ich dziewięciu systemów konstrukcyjnych dla floty autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF CNG) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w okresie 2013-2016

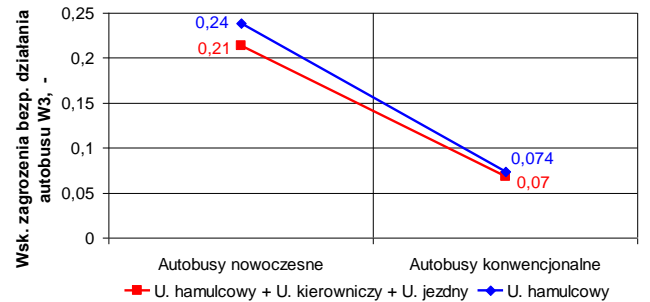


**Rys. 16.** Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu  $W_3$  łącznie wszystkich analizowanych systemów konstrukcyjnych floty autobusów nowoczesnych i autobusów konwencjonalnych w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem średniej wartości wskaźnika  $W_3$  okresu analizy 2013-2016

uszkodzenia dotyczy zwłaszcza elementów nadwozia, układu elektrycznego i układu hamulcowego. W roku 2013 autobusy nowo zakupione, Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Autosan 10LF Sancity miały duże (niekorzystne) prawdopodobieństwo uszkodzenia (rys. 8). Z kolei autobusy Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 CNG bardzo małe (korzystne). W pozostałych trzech latach eksploatacji prawdopodobieństwo uszkodzenia dla wszystkich tych autobusów było zbliżone. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia dziewięciu analizowanych systemów konstrukcyjnych floty autobusów zamieszczono na rys. 9. Nowo zakupione autobusy Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Autosan Sancity 10 LF CNG miały

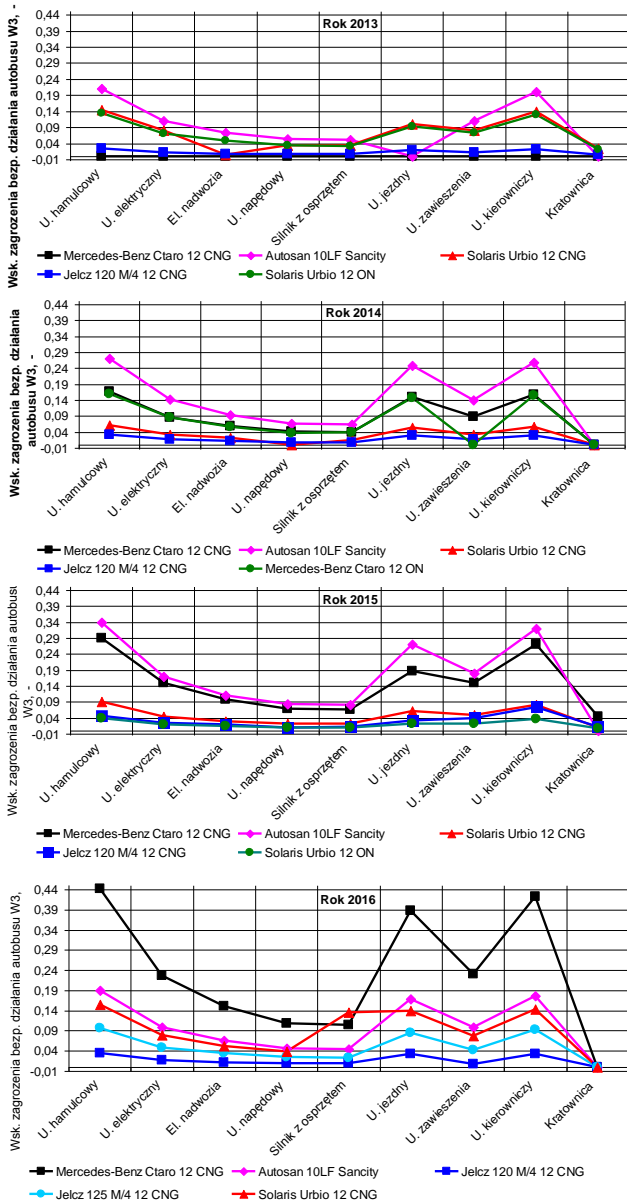


**Rys. 17.** Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusów  $W_3$ , czterech podstawowych ich rodzajów, w prowadzonej analizie z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wskaźnika  $W_3$  okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic



**Rys. 18.** Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu  $W_3$  wynikłego z analizy wpływu układu hamulcowego oraz wartości wskaźnika  $W_3$  dla łącznego wpływu uszkodzonych układów hamulcowego, kierowniczego i jezdnego w okresie 2013-2016 użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic

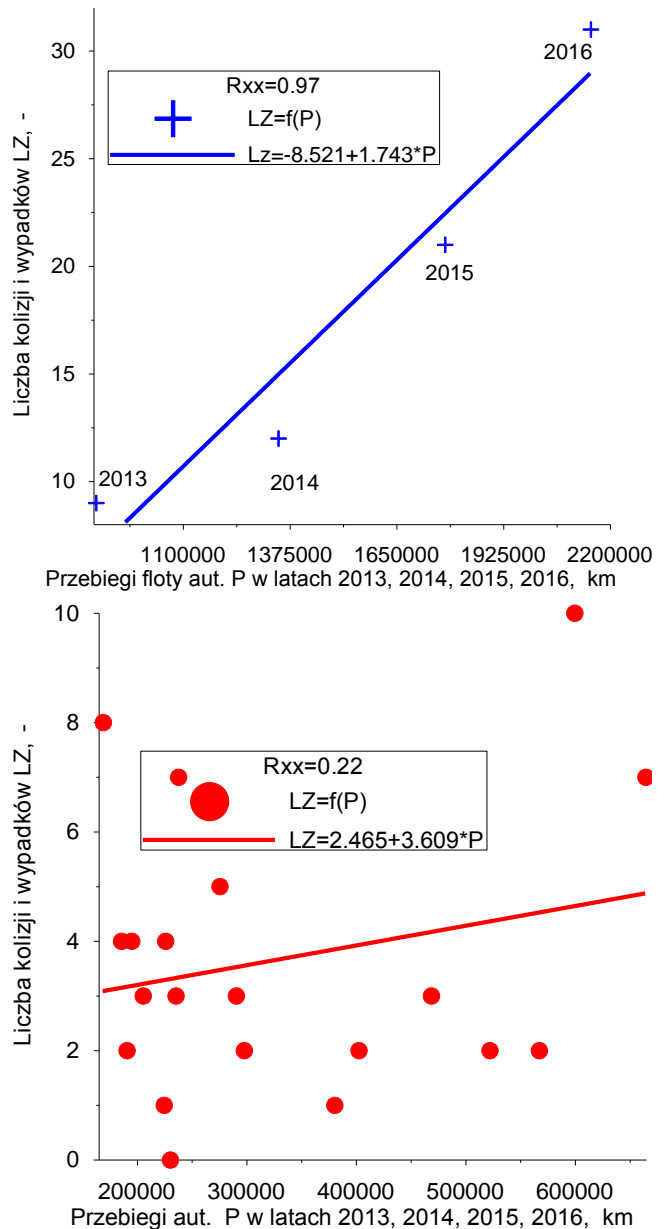
w okresie 2013-2016 ponad dwukrotnie mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia silników z osprzętem niż autobusy Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG. Zarazem jednak wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia elementów nadwozia. Dla pozostałych układów konstrukcyjne, tych dwóch grup autobusów, wartości  $P(U^*)$  były zbliżone. Dotyczyło to układu: hamulcowego, elektrycznego, napędowego, jezdny, zawieszenia, kierowniczy i kratownicy. Na początku okresu użytkowania, w roku 2013, autobusy Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG charakteryzowały się większym prawdopodobieństwem uszkodzenia (bardziej niekorzystnym) niż autobusy Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG (rys. 10). Natomiast w kolejnych trzech latach eksploatacji ich prawdopodobieństwo uszkodzenia było prawie identyczne. Stwierdzono także bardzo zbliżone prawdopodobieństwo uszkodzenia układu hamulcowego oraz prawdopodobieństwa łączne uszkodzonych układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny dla czterech analizowanych grup autobusów (rys. 11). W kolejnych trzech latach eksploatacji całej floty autobusów (2013-2015) występuje wysokie lecz korzystne stopniowo malejące prawdopodobieństwo uszkodzenia, zwłaszcza elementów nadwozia i układu elektrycznego autobusów (rys. 12). Z kolei w roku 2016 wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia wystąpiło, oprócz układu elektrycznego także dla silnika i ich osprzętu, tylko autobusów starszej generacji (rys. 12). Rysunek ten przedstawia, oprócz poprzednio wymienionych autobusów, także autobusy: Solaris Urbino 12 ON (z 2013 i 2014 r.), Mercedes-Benz Citaro 12 ON (z 2014 r.) oraz Jelcz M125 M/4 CNG (z 2016 r.). Autobusy zasilane olejem napędowym, Solaris Urbino



**Rys. 19.** Wartość wskaźnika  $W_3$  zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego, wynikłego ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia działania systemów autobusów w ciągu jednego roku, dla analizowanych pięciu grup autobusów MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem dziewięciu systemów konstrukcyjnych

12 ON, w roku 2013 i 2015, miały umiarkowaną wartość prawdopodobieństwa uszkodzenia lecz nieco większą niż przy zasilaniu gazem CNG. Stwierdzono porównywalną wartość prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia zespołów konstrukcyjnych autobusów, zasilanych olejem napędowym i gazem ziemnym CNG dla pojazdów Mercedes-Benz Citaro 12. Jest ono jednak większe i bardzo wysokie przy zasilaniu silnika ON, dla układu elektrycznego i elementów nadwozia. Z kolei porównanie autobusów Jelcz zasilanych gazem CNG dokonano na podstawie wartości  $P(U^*)$  z 2016 roku. Autobusy Jelcz M125 M/4 CNG w porównaniu z autobusami Jelcz 120 M/4 12 CNG mają zbliżone wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia. Jednak silniki z osprzętem autobusów starszej konstrukcji, Jelcz 120 M/4 12 CNG, wykazują znacznie większe ich wartości.

W okresie kolejnych czterech lat eksploatacji floty autobusów, stwierdzono stopniowo narastający poziom zagrożenia działania



**Rys. 20.** Zależność liczba kolizji i wypadków LZ autobusów w MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 od: a) przebiegu łącznego całej floty w danym roku, b) przebiegu poszczególnych rodzajów autobusów w okresie 2013-2016

autobusów, wynikający ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu (rys. 13). Szczególnie duże zagrożenie bezpieczeństwa miejskiego transportu autobusowego, ocenianego wartością wskaźnika  $W_3$ , wynika z wpływu ich układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny. Zagrożenie bezpieczeństwa działania systemów konstrukcyjnych autobusów nie było systematycznie narastające, lecz ma największe wartości w roku 2016, zwłaszcza dla wymienionych trzech układów (rys. 14). Flota autobusów nowoczesnych, Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG w porównaniu z flotą autobusów Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG, w okresie 2013-2016 ma zdecydowanie większe wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa jej działania  $W_3$  (rys. 15). To zdecydowanie większe zagrożenie bezpieczeństwa transportu miejskiego wynika z większego zagrożenia stworzonego przez wszystkie układy konstrukcyjne autobusów.

W kolejnych latach okresu analizy, okres 2013-2016, znacznie narastał poziom zagrożenia działania autobusów, wynikający ze

zdarzeń drogowych i uszkodzenia ich systemów konstrukcyjnych, szczególnie dla autobusów nowoczesnych, Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG (rys. 16). Zanotowano także w kolejnych latach eksploatacji miejskiego transportu autobusowego MPK Rzeszów, bardzo duży stopień zwiększa wartość wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania dotyczy autobusów Mercedes-Benz Citaro 12 CNG (rys. 17). Ma on także duże wartości dla autobusów Autosan 10LF Sancity, mniejsze dla autobusów Solaris Urbino 12 CNG lecz zdecydowanie mniejsze dla autobusów Jelcz 120 M/4 CNG. Zagrożenie bezpieczeństwa działania autobusów, wynikłe z uszkodzenia układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny jest zbliżone dla grupy autobusów Autosan 10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG oraz grupy autobusów Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 CNG, jednak zdecydowanie większe dla pierwszej ich grupy (rys. 18). Rysunek 19 przedstawia wartości wskaźnika  $W_3$  zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego, wynikłego ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia działania systemów konstrukcyjnych autobusów w ciągu jednego roku, dla wszystkich analizowanych ich grup w latach 2013, 2014, 2015 i 2016. Cechą charakterystyczną autobusów MPK Rzeszów jest stopniowe narastanie zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego w kolejnych latach jego eksploatacji. Dotyczy to zwłaszcza nowo zakupionych nowoczesnych autobusów Autosan 10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG. Jest bardzo niepokojące że roku 2016 autobusy Mercedes-Benz Citaro 12 CNG spowodowały wyjątkowo wysoką wartość zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego.

Stwierdzono także liniowo narastającą zależność liczby kolizji i wypadków (zdarzeń drogowych LZ) od przebiegu łącznego całej floty, w danym roku użytkowania autobusów MPK Rzeszów okresu 2013-2016 (rys. 20). Ta zależność ma korelację prawie pewną, według skali Stanisza. Z kolei według skali Guilforda zależność jest bardzo wysoka i współczynnik korelacji pewny. Korelacja jest słaba pomiędzy liczbą zdarzeń drogowych i przebiegiem autobusów, gdy rozpatruje się poszczególne i wszystkie ich rodzaje w latach 2013, 2014, 2015 i 2016. Podobnie słaba korelacja jest pomiędzy liczbą zdarzeń drogowych i liczbą uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusów.

### PODSUMOWANIE

Dokonano analizy poziomu zagrożenia bezpieczeństwa zrównoważonego transportu publicznego Rzeszowa i gmin: Krasne, Świlcza i Tyczyn w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 okresu jego wdrażania i eksploatacji. Za miarę przyjęto wartości wskaźnika  $W_3$  zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego, wynikłego ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia działania systemów konstrukcyjnych autobusów w ciągu jednego roku oraz jego pozostałych składowych: oceny ekspertów stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego  $O$  jakie stwarza uszkodzenie zespołów konstrukcyjnych autobusu i prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu  $P(U^*)$ . W okresie tym użytkowano zbudowaną infrastrukturę drogową, wprowadzony system ITS jak i nowo zakupione autobusy Autosan M10LF Sancity, Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Mercedes-Benz Citaro 12 ON oraz autobusy wcześniejszej floty, nowoczesne zbliżone do konwencjonalnych, Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG, Solaris Urbino 12 ON oraz Jelcz M125 M/4 CNG.

Nowo zakupione, liczniejsze autobusy, mają znacznie mniejsze przebiegi roczne niż autobusy dotychczas użytkowane. Stwierdzono dla całej floty autobusów: zmieszenie liczby uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusów (układ hamulcowy, układ elektryczny, elementy nadwozia, układ napędowy, silnik z osprzętem, układ

jezdny, układ zawieszenia, układ kierowniczy i kratownica) jak i zwiększenie liczby zdarzeń drogowych ZD, także w przeliczeniu na 1000 km ich przebiegu. Na podstawie oceny ekspertów, wysokie zagrożenia bezpieczeństwa miejskiego transportu autobusowego  $O$ , stwarza zwłaszcza uszkodzenie układu hamulcowego, kierowniczego, jezdny i zawieszenia. Na początku eksploatacji autobusy nowo zakupione, Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Autosan 10LF Sancity, mały duże (niekorzystne) prawdopodobieństwo uszkodzenia systemów konstrukcyjnych w porównaniu z autobusami, dotychczas eksploatowanymi, Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 CNG, których prawdopodobieństwo uszkodzenia było bardzo małe (korzystne). W latach 2014-2016 prawdopodobieństwo uszkodzenia powyżej wymienionych autobusów było zbliżone, w tym także ich układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny. W kolejnych trzech latach eksploatacji całej floty autobusów (2013-2015) występuje wysokie lecz korzystne stopniowo malejące prawdopodobieństwo uszkodzenia ich systemów konstrukcyjnych. Zanotowano jednak w 2016 roku wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia, dla autobusów starszej generacji, układu elektrycznego oraz silników z osprzętem. Zasilanie autobusów olejem napędowym oraz sprężonym gazem ziemnym powoduje odmienne prawdopodobieństwo uszkodzenia ich systemów konstrukcyjnych, na podstawie analizy modeli Solaris Urbino 12 i Mercedes-Benz Citaro 12. Z kolei prawdopodobieństwa uszkodzenia silników gazowych z osprzętem, autobusów starszej konstrukcji Jelcz 120 M/4 12 CNG, jest znacznie większe niż autobusu Jelcz M125 M/4 CNG.

W okresie kolejnych czterech lat eksploatacji floty autobusów MPK Rzeszów, stwierdzono stopniowo narastający poziom zagrożenia działania autobusów  $W_3$ , wynikający ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu, zwłaszcza w 2016 roku, spowodowany uszkodzeniami układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny. Autobusy Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG w porównaniu z autobusami Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG, mają zdecydowanie większe wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa ich działania  $W_3$ .

Jest bardzo niepokojące że pomimo zastosowania zaawansowanych technologii w autobusach Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, po trzech latach ich eksploatacji wystąpiła wyjątkowo wysoka wartość zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego.

Stwierdzono, że liczba zdarzeń drogowych od przebiegu łącznego całej floty MPK Rzeszów ma korelację prawie pewną, według skali Stanisza. Według skali Guilforda zależność ta jest bardzo wysoka i współczynnik korelacji pewny. Z kolei korelacja jest słaba, zarówno pomiędzy liczbą zdarzeń drogowych i przebiegiem autobusów, gdy rozpatruje się poszczególne i wszystkie ich rodzaje w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 jak i liczbą zdarzeń drogowych w zależności od liczby uszkodzeń systemów konstrukcyjnych.

### BIBLIOGRAFIA

1. Krystek R. (red.), *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.1, T.2, T.3*. WKiŁ, Gdańsk 2009, 2010.
2. Towpik K., Gołaszewski A., Kukulski J., *Infrastruktura transportu samochodowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
3. Kiba-Janiak M., *Key success factors for city logistics from the perspective of various groups of stakeholders*. "Transportation Research Procedia" 2016, 12.
4. *Biała Księga – Plan tworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, KOM(2011) 144, wersja ostateczna*. Bruksela, dnia 28.3.2011.



5. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 24 października 2007 r. W sprawie wspólnotowej strategii na rzecz zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> pochodzących z samochodów osobowych i lekkich pojazdów dostawczych. 2007/2119(INI).
6. Zielona Księga – w kierunku nowej kultury mobilności w mieście. Komisja Wspólnot Europejskich COM, 2007, 551, wersja ostateczna, Bruksela, dnia 25.9.2007.
7. Traktaty. Wersja skonsolidowana. Karta praw podstawowych. Unia Europejska, PL marzec 2010.
8. SafetyNet Work Package 3. State-of-the-art Report on Road Safety Performance Indicators. SafetyNet 2005.
9. Świątecki P., Wojucka D. (red.), *Bezpieczeństwo w publicznym transporcie zbiorowym*. Kancelaria Senatu 2013. Konferencja Senackiego Zespołu Infrastruktury, 15 października 2012 r. Zeszyt 15/2013.
10. Jackiewicz J., Czech P., Barcik J., *Standardy jakości usług w komunikacji miejskiej - Część 1*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport, z. 67, Nr kol. 1832, 2010.
11. 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" 2005, 37.
12. Feng S., Li Z., Ci Y., Zhang G., *Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers*. Accident Analysis and Prevention 2016, 86.
13. Mallia L., Lazuras L., Violani C., Lucidi F., *Crash risk and aberrant driving behaviors among bus drivers: The role of personality and attitudes towards traffic safety*. "Accident Analysis and Prevention" 2015, 79.
14. *Raporty Komendy Głównej Policji w zakresie wypadków drogowych w latach 2010-2016*.
15. Jamroz K., Kustra W., Budzynski M., Zukowska J., *Pedestrian protection, speed enforcement and road network structure the key action for implementing poland's vision zero*. "Transportation Research Procedia" 2016, 14.
16. Li D., Zhao Y., Bai Q., Zhou B., Ling H., *Analyzing injury severity of bus passengers with different movements*. Traffic Injury Prevention 2017, 18 (5).
17. *Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce*. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Komunikacji i Systemów Transportowych 2011 r. www.nik.gov.pl.
18. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. WKŁ, Warszawa 2008.
19. 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.
20. Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2011.
21. Drożdżel P., Komsta H., Rybicka I., *Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie*. „Logistyka” 2012, 3.
22. Mariański M., *Autokary wielkiej turystyki*. „Transport Technika Motoryzacyjna” 2010, 7/8.
23. Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. Wyd. 3 rozszerzone, WKŁ, Warszawa 2012.
24. 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.
25. Reński A., *Bezpieczeństwo czynne samochodu: Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
26. Piątkowski P., Lewkowicz R., *Bezpieczeństwo w pojazdach komunikacji miejskiej*. TRANSCOMP – XIV International Conference Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, Zakopane, 2013.
27. 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" 2012, 43 (3).
28. Jeyakumar P. D.; Devaradjane G., *Improvement of the frontal structure of a bus for crash accidents*. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Location, Houston, 2013, 11.
29. *Regulamin nr 94 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w odniesieniu do ochrony osób przebywających w pojeździe w przypadku zderzenia czołowego*. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, PL, 28.5.2010.
30. Prochowski L., Żuchowski A., *Samochody ciężarowe i autobusy*. WKŁ, Warszawa 2011.
31. Mikusova M., *Crash avoidance systems and collision safety devices for vehicle occupants*. Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering (DYN-WIND), Trstena, Slovakia, 2017, 107.
32. SafetyNet Work Package 3. State-of-the-art Report on Road Safety Performance Indicators. SafetyNet 2005.
33. *Dostępna komunikacja miejska. Samorząd równych szans*. Fundacja Instytut Rozwoju Regionalnego, Kraków 2009.
34. Cafuso S., Di Graziano A., Pappalardo G., *Road safety issues for bus transport management*. "Accident Analysis & Prevention" 2013, 60.
35. Anund A., Ihlström J., Fors C., Kecklund G., Filtness A., *Factors associated with self-reported driver sleepiness and incidents in city bus drivers*. Industrial Health 2016, 54 (4).
36. 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" 2014, 66.
37. Chow A.H.F., Li S., Zhong R., *Multi-objective optimal control formulations for bus service reliability with traffic signals*. "Transportation Research Part B-Methodological" 2017, 103.
38. Delgado F., Munoz J.C., Giesen R., *How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?* "Transportation Research Part B: Methodological" 2012, 46 (9).
39. Phillips W., del Rio A., Carlos M.J., Delgado F., Giesen R., *Quantifying the effects of driver non-compliance and communication system failure in the performance of real-time bus control strategies*. "Transportation Research Part A-Policy and practice" 2015, 78.
40. Wretstrand A., Holmberg B., Berntman M., *Safety as a key performance indicator: Creating a safety culture for enhanced passenger safety, comfort, and accessibility*. "Research in Transportation Economics" 2014, 48.
41. Chamier-Gliszczyński N., Bohdal T., *Wskaźniki oceny mobilności miejskiej w aspekcie ochrony środowiska*. Rocznik Ochrona Środowiska 2016, 18 (1).
42. *Dyrektywa 2005/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 września 2005 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do działań, które należy podjąć przeciwko emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez silniki wysokoprężne stosowane w pojazdach*

- dach oraz emisji zanieczyszczeń gazowych z silników o zapłonie iskrowym zasilanych gazem ziemnym lub gazem płynnym stosowanych w pojazdach (Tekst mający znaczenie dla EOG).
43. Merkiś J., Jacyna M., Merkiś-Guranowska A., Pielecha J., Stojęcki A., *Emisja zanieczyszczeń ze źródeł transportowych w rzeczywistych warunkach ruchu*. „Technika Transportu Szynowego” 2013, 10.
  44. Ambroziak T., Pyza D., Merkiś-Guranowska A., Jachimowski R., *Ocena wpływu transportu drogowego na degradację środowiska przy różnej strukturze pojazdów*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa-Poznań 2014.
  45. Zhang S., Wu Y., Liu H., Huang R., Yang L., Li Z., Fu L., Hao J., *Real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of urban public buses in Beijing*. Applied Energy 2014, 113.
  46. Woropay M., Bojar P., *Analiza i ocena uszkodzeń wybranych podzespołów autobusów oraz ich wpływ na zagrożenia w miejskim systemie transportowym*, „Archiwum Motoryzacji” 2007, 2.
  47. Woś P., Michalski J., Wojewoda P., *Bezpieczeństwo autobusowego systemu transportu publicznego miast metropolitalnych Wrocławia i Rzeszowa w 2014 roku*. „Autobusy, Bezpieczeństwo i ekologia”, 2016, 6.

### Secure public bus transport during the development of sustainable public transport in Rzeszów in the years 2013-2016

*This article is an attempt to answer the question of how advanced technologies used in modern city buses are reflected in the actual reduction of traffic incidents and improved safety in use. The level of safety of transport caused by the number of collisions and accidents and the number of bus system failures in the period 2013-2016 was analyzed. The implementation and operation of sustainable public transport in Rzeszów. The assessment was carried out using the W3 index. It evaluates the level of safety risk of the transport system caused by the intensity of the bus system damage within one year and its components: probability of failure of the analyzed system  $P(U^*)$  and significance of the impact of bus system damage on the safety of the transport system.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Jacek Michalski**, prof. PRz – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; 35-959 Rzeszów, jnichals@prz.edu.pl