

Analiza bezpieczeństwa przewozu osób autobusami nowoczesnymi i konwencjonalnymi w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2018.374

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

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. Analiza dotyczy okresu 2013-2017 r. wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu publicznego w mieście. Wprowadzono nowoczesne autobusy Autosan Sancity 10LF i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG ale eksploatowane były wciąż starsze konstrukcje typu Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 CNG. Zbadano poziom zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego wynikający z liczby kolizji i wypadków. Ocenę przeprowadzono za pomocą wskaźnika W3 charakteryzującego poziom zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego wywołany także intensywnością uszkodzeń układów autobusu w ciągu jednego roku. Oceniano prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu $P(U^*)$ oraz istotność wpływu uszkodzeń tych systemów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa transportu miejskiego O.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo transportu publicznego, zintegrowany system zarządzania ruchem miejskim.

Wstęp

Celem tworzenia zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta jest poprawa funkcjonalności transportu miejskiego poprzez ulepszenie dostępu do jego centralnych obszarów, a także zapewnienie sprawnego transportu wewnątrz miasta, co spowoduje wzrost atrakcyjności miasta oraz zwiększenie mobilności mieszkańców. Zwykle wymaga to dokonania zakupu nowoczesnego taboru autobusowego, unowocześnienia lokalnego układu komunikacyjnego oraz zmodernizowania infrastruktury na potrzeby transportu publicznego. Zintegrowany system zarządzania ruchem i transportem publicznym wymaga stworzenia kilku integralnych podsystemów, jak: obszarowego sterowania ruchem drogowym (sterowania sygnalizacją świetlną, nadawania pierwszeństwa pojazdom komunikacji zbiorowej, informacji dla kierowców), zarządzania transportem publicznym (identyfikację pojazdów, zliczania liczby pasażerów, nadzoru nad standardami jakościowymi obsługi pasażerów), informacji pasażerskiej (obrazy cyfrowe na przystankach czasu, w jakim przyjedzie autobus konkretnej linii), elektronicznego poboru opłat, zarządzania płatnym parkowaniem oraz dynamicznego ważenia pojazdów samochodowych WIM (Weigh-in-Motion). Zintegrowanie wyżej wymienionych podsystemów wymaga zwykle wdrożenie teleinformatycznego radiowego kanału transmisyjno-informacyjnego łącznie z komunikacją z autobusami i centrum obszarowego sterowania ruchem ITS (Intelligent transportation systems) [7].

1. Zarys problematyki wprowadzania zintegrowanych systemów zarządzania ruchem drogowym miast

Utrzymanie ruchu w systemie transportu miasta jest terminem odnoszącym się do teorii, metod, technologii oraz technik zapewniających sprawne jego funkcjonowanie jak i niezawodność stosowanych maszyn, urządzeń i infrastruktury. Ich sprawne funkcjonowanie wymaga zwłaszcza: obsługi, ulepszenia, naprawiania i przygotowania do użytkowania. Strategia tych działań oparta jest na modelach: reaktywnych, prewencyjnych, predyktywnych, proaktywnych, bazujących na ocenie ryzyka (bezpieczeństwa) i ukierunkowania na niezawodność [2].

W monografii [3] podjęto próbę możliwości łącznego rozpatrywania procesów diagnozowania oraz procesów oceniania ryzyka dla obiektów technicznych, w celu umożliwienia ich adaptacyjnego doskonalenia. Podano także funkcje systemów sterowania i zabezpieczeń maszyn oraz konstruowanie przykładowych sieci stwierdzeń dla celów diagnostycznych sieci komunikacyjnej.

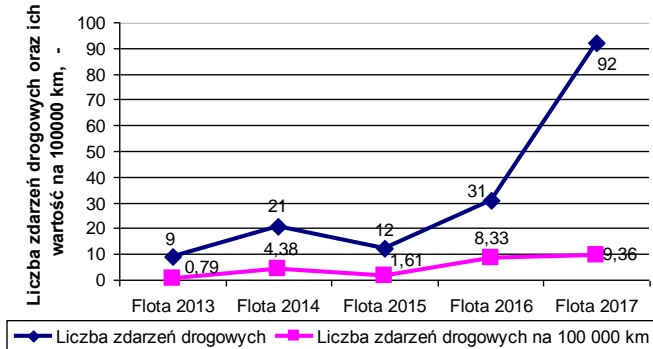
Poprawa mobilności miejskiej to obecnie jedno z największych wyzwań polskich samorządów większości miast [5, 8]. Zintegrowane systemy zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta to systemy, które zapewniają poprawną płynność ruchu komunikacyjnego przy jednoczesnym podniesieniu bezpieczeństwa użytkowników dróg oraz poprawę funkcjonowania komunikacji zbiorowej i pojazdów uprzywilejowanych poprzez skrócenie czasu podróży na określonych trasach w mieście.

2. Warunki badań i ich wyniki

Obiektem badań były autobusy eksploatowane w rzeczywistym systemie komunikacji miejskiej Rzeszowa [6]. 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 i funkcjonowanie projektu zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym wraz z dedykowaną mu platformą teleinformatyczną, zakupem nowoczesnego taboru autobusowego oraz przebudową i rozbudową lokalnego układu komunikacyjnego znajdują odzwierciedlenie w rzeczywistej redukcji liczby zdarzeń drogowych i polepszeniu bezpieczeństwa użytkownika autobusów miejskich.

Badaniem objęto autobusy miejskie komunikacji publicznej, przewoźnika komunikacji miejskiej z lat 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 [6]. 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: układu hamulcowego, układu elektrycznego, elementów nadwozia, układu napędowego, silnika z osprzętem, układu jezdny, układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy nośnej. Były to autobusy nowoczesne: Autosan

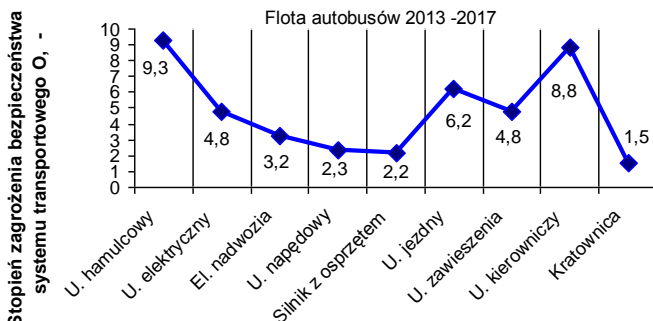
M10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG oraz autobusy zbliżone konstrukcyjnie do starszych pojazdów (konwencjonalne): Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG. Charakterystyczne wielkości analizowanych autobusów komunikacji miejskiej to: średni wiek autobusów, wartości przebiegu rocznego autobusów oraz przebieg w przeliczeniu na jeden autobus floty miasta. Danymi potrzebnymi była także: liczebność wyszczególnionych rodzajów i typów floty autobusów, liczba i wskaźnik liczby uszkodzeń analizowanych systemów (podsystemów) konstrukcyjnych autobusów oraz ich wartość na 100000 km przebiegu oraz liczba kolizji i wypadków i ich wartość na 100000 km przebiegu (rys. 1).



Rys. 1. Wartości średniej liczby kolizji i wypadków i ich wartość na 100000 km przebiegu floty autobusów miasta w latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017

W celu oceny zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, O, jakie stwarzają uszkodzenia poszczególnych układów autobusów, przeprowadzono badania ankietowe metodą oceny ekspertów (rys. 2). 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.



Rys. 2. Średnie wartości zagrożenia bezpieczeństwa O jakie stwarza uszkodzenie systemu autobusu na podstawie metody oceny ekspertów (zakres skali oceny od 1 do 10)

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. Okre-

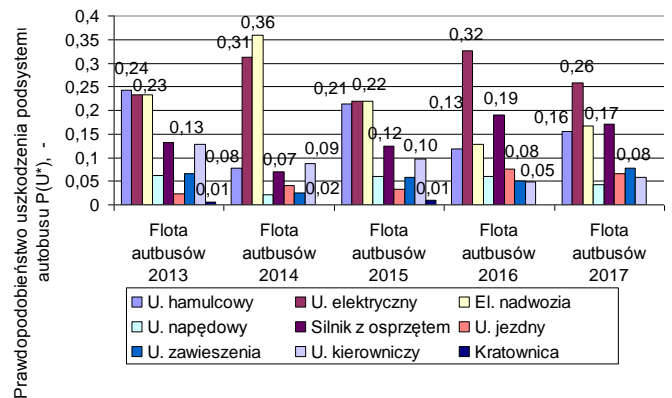
ślono liczbę kolizji i wypadków, których przyczyną powstania zdarzeń był stan ograniczonej zdadności badanych autobusów. Wartości prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu wyznaczono z estymatora na podstawie zależności [9, 10]:

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

gdzie:

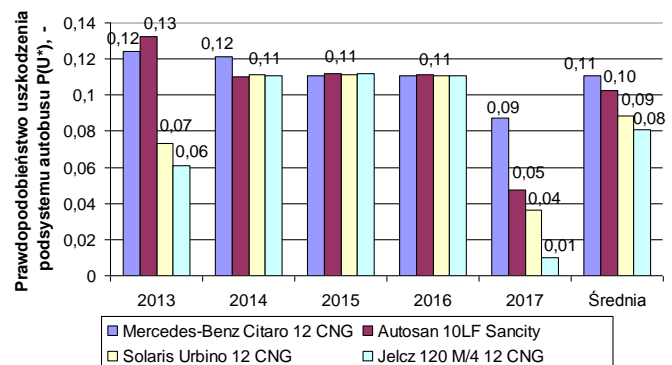
LU^* – liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu, w ciągu 1 roku,

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



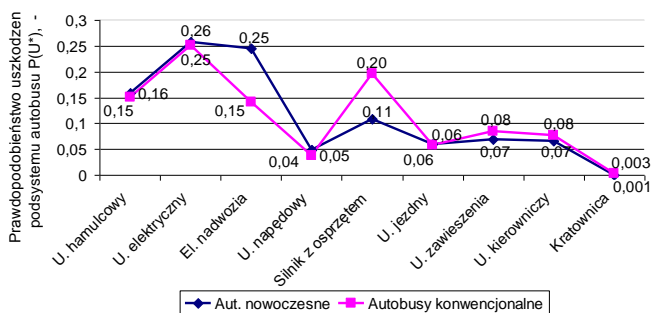
Rys. 3. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ systemów konstrukcyjnych autobusów floty miasta w latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 z wyszczególnieniem wyodrębnionych układów i elementów autobusu

Tak wyznaczone prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanych systemów konstrukcyjnych autobusu zamieszczono dla wszystkich wyodrębnionych układów i elementów, czterech podstawowych rodzajów autobusów floty z okresu 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 z podaniem prawdopodobieństwa uszkodzenia dziewięciu systemów na rysunku 3, czyli wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ systemów analizowanych czterech autobusów: nowoczesnych Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10LF CNG oraz konwencjonalnych Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG, w kolejnych latach prowadzonej analizy. Doskonale także widać na rysunku 4, że w roku 2017 prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ czterech analizowanych autobusów jest znacznie mniejsze.



Rys. 4. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ czterech rodzajów analizowanych autobusów w latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wartości prawdopodobieństwa $P(U^*)$ okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta oraz okolic

Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia dziewięciu systemów konstrukcyjnych (hamulcowy, elektryczny, nadwozia, układu napędowego, silnik z osprzętem, jezdnym, zawieszenia, kierowniczy i kratownica) z podziałem na autobusy nowoczesne i autobusy konwencjonalne obrazuje rysunek 5.



Rys. 5. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ dziewięciu systemów konstrukcyjnych floty autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10LF CNG) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w okresie 2013-2017

Cechą charakterystyczną jest duże i odmienne dla autobusów nowoczesnych i konwencjonalnych prawdopodobieństwo uszkodzenia układu elektrycznego, elementów nadwozia, układu hamulcowego, silnika z osprzętem (rys. 5). Z kolei małe wartości ma $P(U^*)$ dla: układu zawieszenia, kierowniczego, jezdny i napędowego. Najmniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia ma kratownica autobusu. Jest także charakterystycznym, że średnie prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia dziewięciu systemów autobusu $P(U^*)$ są mało zmienne w okresie od 2014 do 2016 oraz znacznie mniejsze w roku 2013 i 2017 dla autobusów konwencjonalnych (rys. 4).

Jest zaskakującym i zarazem niewłaściwym, że wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ układu hamulcowego oraz prawdopodobieństwa $P(U^*)$ łączne uszkodzonych układów hamulcowego, kierowniczego i jezdny w okresie 2013-2017 były większe dla autobusów nowoczesnych Mercedes-Benz Citaro 12 CNG oraz Autosan Sancity 10LF CNG aniżeli autobusów konwencjonalnych. Autobusy konwencjonalne Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG mają bowiem od 8 do 12 lat eksploatacji [6].

Z kolei poziom zagrożenia działania autobusu, wynikające ze zdarzeń drogowych i uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusu wyznaczono za pomocą wskaźnika W_3 [9] oraz zamieszczono na rysunkach do 6 do 10. Wskaźnik W_3 poziomu zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego miał postać:

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

gdzie:

- LZ – liczba 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).

3. Analiza wyników badań

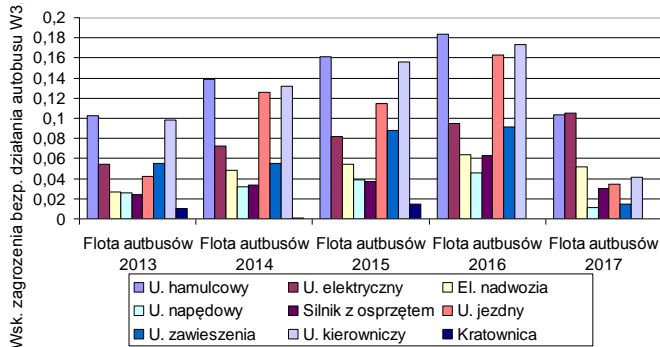
Rzeszów zamieszkuje około 200000 mieszkańców, ma powierzchnię 120 km², liczbę zarejestrowanych pojazdów około 120000 oraz prawie połowę osób pracujących w mieście dojeżdża-

jących z sąsiednich gmin. Długość sieci drogowej w mieście to 557 km, liczba linii autobusowych 57 o całkowitej długości 549 km oraz dzienną liczbę pasażerów około 30000. Kursy autobusowe są coraz bardziej punktualne i regularne, co rodzi zadowolenie i zaufanie pasażerów komunikacji zbiorowej. Eksploatowane w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta nowo zakupione autobusy miały w latach 2013-2017 wiek od 1 do 5 lat, znacznie mniejsze przebiegi roczne niż autobusy konwencjonalne, mimo iż było ich więcej [6]. Charakterystyczną cechą analizowanego przewoźnictwa autobusowego było znaczne zwiększenie w 2017 roku zapotrzebowania na przewozy autobusową komunikacją publiczną oraz znaczne zwiększenie przebiegu nowo zakupionych autobusów nowoczesnych: Autosan Sancity 10LF i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, także w przeliczeniu na jeden autobus floty miasta. Spowodowało to jednak prawie pięciokrotny wzrost średniej liczby kolizji i wypadków, w porównaniu do okresu 2013-2017 (rys. 1). Natomiast liczba zdarzeń drogowych, w przeliczeniu na 100000 km przebiegu floty autobusów miasta, zwiększyła się prawie 2,5 krotnie. Jest także znamienne, że w 2017 roku wartości liczby uszkodzeń autobusów nowoczesnych na 100000 km ich przebiegu uległa czterokrotnemu zmniejszeniu, w porównaniu do okresu 2013-2017. Z kolei flota autobusów konwencjonalnych - Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 CNG, zanotowała zwiększenie w 2017 roku liczby uszkodzeń autobusów na 100000 km ich przebiegu, w porównaniu z latami 2013-2016.

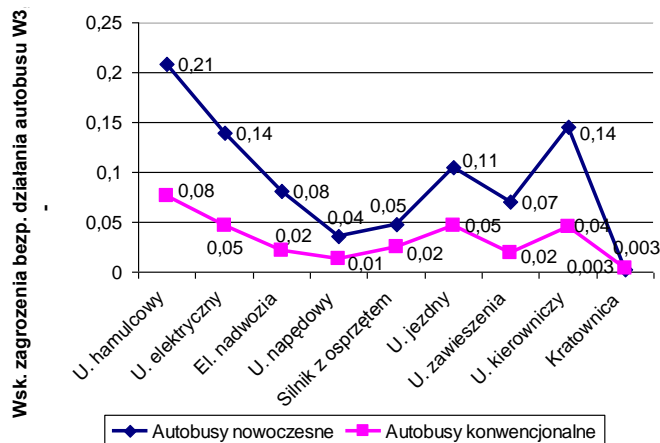
W kolejnych latach 2013-2016 wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu miejskiego stwierdzono dla floty autobusów nowoczesnych zwiększenie liczby uszkodzeń analizowanych systemów konstrukcyjnych, jak i zwiększenie liczby zdarzeń drogowych, także w przeliczeniu na 100000 km ich przebiegu. Te cechy autobusów uległy diametralnej poprawie w 2017 roku.

Na podstawie oceny ekspertów, wysokie zagrożenia bezpieczeństwa miejskiego transportu autobusowego stwarza zwłaszcza uszkodzenie ich układu hamulcowego, kierowniczego, jezdny i zawieszenia (rys. 2). Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia analizowanych systemów konstrukcyjnych autobusów $P(U^*)$ mają dużą zmienność w analizowanym okresie 2013-2017. Duże prawdopodobieństwo 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. 4). 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. 3. Nowo zakupione autobusy Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Autosan Sancity 10LF CNG miały w okresie 2013-2017 ponad dwukrotnie mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia silników z osprzętem niż autobusy Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG (rys. 5), zarazem jednak wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia elementów nadwozia. Dla pozostałych układów konstrukcyjnych 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) w porównaniu z autobusami Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG (rys. 4). Natomiast w kolejnych trzech latach eksploatacji ich prawdopodobieństwo uszkodzenia było prawie identyczne. Stwierdzono w okresie 2013 do 2017 bardzo zbliżone prawdopodobieństwo

uszkodzenia układu hamulcowego autobusów nowoczesnych i konwencjonalnych. Z kolei prawdopodobieństwo łączne uszkodzonych układów hamulcowego, kierowniczego i jezdnego dla autobusów nowoczesnych jest większe (niekorzystne). W kolejnych latach eksploatacji całej floty autobusów (2013-2017) występuje korzystnie stopniowo malejące prawdopodobieństwo uszkodzenia, zwłaszcza elementów nadwozia i układu elektrycznego autobusów (rys. 3). Z kolei w roku 2016 wysokie prawdopodobieństwo uszkodzenia wystąpiło, oprócz układu elektrycznego, także dla silników i ich osprzętu – tylko autobusów starszej generacji.



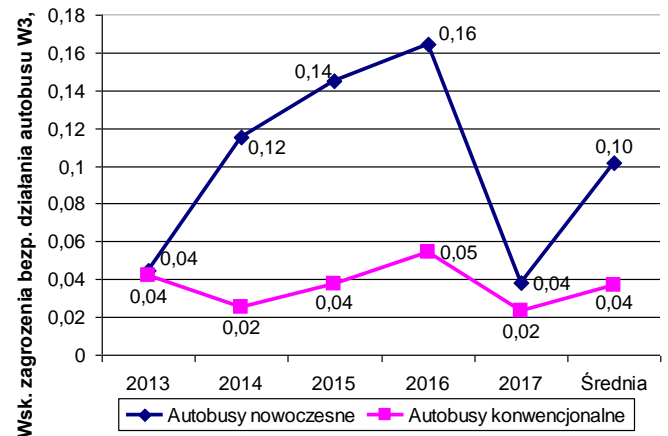
Rys. 6. Wartość wskaźnika W_3 zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportu autobusowego wynikły z uszkodzenia ich działania w ciągu jednego roku, dla floty autobusów MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 z wyszczególnieniem wyodrębnionych systemów



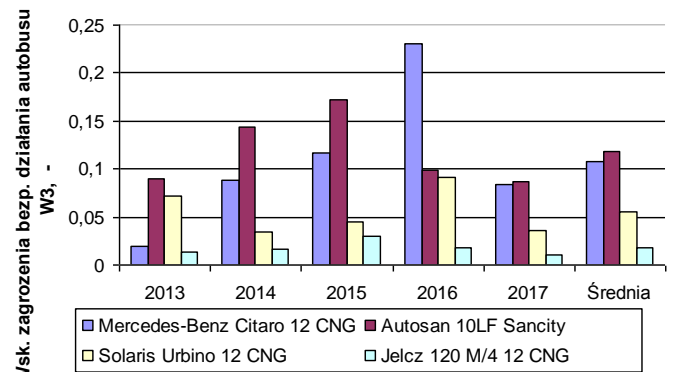
Rys. 7. Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusu W_3 na podstawie ich dziewięciu systemów konstrukcyjnych dla floty autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10LF CNG) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w okresie 2013-2017

W okresie kolejnych lat eksploatacji floty autobusów stwierdzono stopniowo narastający poziom zagrożenia działania autobusów, wynikający z uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu i zdarzeń drogowych (rys. 6). Szczególnie duże zagrożenie bezpieczeństwa miejskiego transportu autobusowego, ocenianego wartością wskaźnika W_3 , wynika z wpływu układu hamulcowego, kierowniczego i jezdnego. Zagrożenie bezpieczeństwa działania systemów konstrukcyjnych autobusów nie było systematycznie narastające, lecz ma największe wartości w roku 2016, zwłaszcza dla wymienionych trzech układów (rys. 6). Flota autobusów nowoczesnych, Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG w porównaniu z flotą autobusów konwencjonalnych Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG, w okresie 2013-2017 ma zdecydowanie

większe wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa jej działania W_3 (rys. 7). To zdecydowanie większe zagrożenie bezpieczeństwa transportu miejskiego wynika z większego zagrożenia stworzonego przez wszystkie systemy konstrukcyjne autobusów.



Rys. 8. 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 10LF CNG) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w okresie 2013-2017

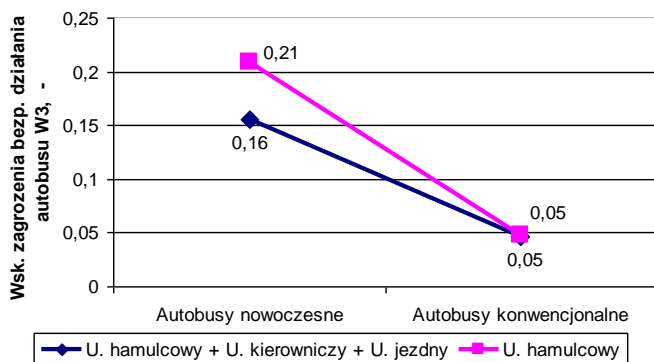


Rys. 9. Wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusów W_3 , czterech podstawowych ich rodzajów, w prowadzonej analizie z lat 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wskaźnika W_3 okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta oraz okolic

W kolejnych latach okresu analizy, lata 2013-2017, 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. 8). Zanotowano także w kolejnych latach (2013-2016) eksploatacji miejskiego transportu autobusowego bardzo duży przyrost wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania dotyczącego autobusów Mercedes-Benz Citaro 12 CNG (rys. 9). W 2017 roku nastąpiła poprawa tej niekorzystnej sytuacji. Jednak w dalszym ciągu wartości wskaźnika zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusów nowoczesnych są znacznie większe. Także średnia wartość wskaźnika W_3 w okresie pięciu lat użytkowania zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta jest większa dla autobusów nowoczesnych (rys. 8).

Zagrożenie bezpieczeństwa działania autobusów, wynikłe z uszkodzenia układu hamulcowego, kierowniczego i jezdnego jest zbliżone dla grupy autobusów Autosan 10LF Sancity i Mercedes-

Benz Citaro 12 CNG lecz większe od grupy autobusów Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 CNG (rys. 10). Z kolei miara zagrożenia bezpieczeństwa działania autobusów nowoczesnych i konwencjonalnych W_3 , wynikająca z uszkodzeń układu hamulcowego jest prawie identyczna (rys 10).



Rys. 10. 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 jezdznego w okresie 2013-2017 użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta oraz okolic

Rysunek 9 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 grup pojazdów w latach od 2013 do 2017. Cechą charakterystyczną autobusów miasta mającego zintegrowany system zarządzania ruchem i transportem publicznym było stopniowe zwiększanie zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego w kolejnych latach 2013-2017 jego eksploatacji. Sytuacja uległa diametralnej zmianie w 2017 roku. Stwierdzono bowiem w 2017 roku znaczną poprawę bezpieczeństwa przewozu autobusami (rys. 9). Była ona zdecydowanie korzystniejsza dla autobusów konwencjonalnych Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG. Trzeba także stwierdzić, że została zahamowana w roku 2017 tendencja niekorzystnego wzrostu bezpieczeństwa przewozu osób autobusami nowoczesnymi Autosan 10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG w warunkach zwiększonego i dużego natężenia ruchu drogowego w mieście. Dobrze świadczy to o skuteczności i przydatności zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta.

Wnioski

W pracy dokonano analizy poziomu zagrożenia bezpieczeństwa autobusów w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta w latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 tj. w okresie jego wdrażania i eksploatacji. Za miarę oceny przyjęto wartości wskaźnika W_3 zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego, wynikającego ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia działania systemów konstrukcyjnych autobusów w ciągu jednego roku oraz pozostałych składowych: ocenę według ekspertów stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego O, jakie stwarza uszkodzenie zespołów konstrukcyjnych autobusu oraz prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia systemów konstrukcyjnych autobusu P(U*). W okresie tym transport autobusowy miasta korzystał ze zbudowanej infrastruktury drogowej, wprowadzonego systemu ITS jak i nowo zakupionych autobusów: Autosan M10LF Sancity, Mercedes-Benz Citaro 12 CNG oraz floty starszych autobusów o

nowoczesnej konstrukcji, zbliżonej do konwencjonalnych autobusów: Solaris Urbino 12 CNG oraz Jelcz 120 M/4 12 CNG.

Nowo zakupione nowoczesne, liczniejsze autobusy, miały znacznie mniejsze przebiegi roczne w okresie 2013-2016 oraz większy przebieg w roku 2017 niż autobusy konwencjonalne, których wiek wynosił 8-12 lat. Stwierdzono dla całej floty autobusów: znaczne zróżnicowanie liczby uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusów (układu hamulcowego, układu elektrycznego, elementów nadwozia, układu napędowego, silnika z osprzętem, układu jezdznego, układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy) jak i zwiększenie liczby zdarzeń drogowych, także w przeliczeniu na 100000 km ich przebiegu. Na podstawie oceny ekspertów, wysokie zagrożenia bezpieczeństwa miejskiego transportu autobusowego O stwarza zwłaszcza uszkodzenie układu hamulcowego, kierowniczego, jezdznego i zawieszenia. Na początku eksploatacji autobusy nowo zakupione – Mercedes-Benz Citaro 12 CNG i Autosan 10LF Sancity, miały 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 wyżej wymienionych autobusów było zbliżone, w tym także w zakresie usterkowości układu hamulcowego, kierowniczego i jezdznego. W kolejnych pięciu latach eksploatacji całej floty autobusów (2013-2017) występuje wysokie, lecz korzystnie stopniowo malejące prawdopodobieństwo uszkodzenia ich systemów konstrukcyjnych. Zanotowano jednak w 2017 roku bardzo zbliżone prawdopodobieństwo uszkodzenia dla autobusów nowej i starszej generacji. Było one jednak szczególnie duże dla układu elektrycznego, silnika z osprzętem oraz układu hamulcowego.

W okresie kolejnych czterech lat eksploatacji (2013-2016), zwłaszcza floty autobusów nowoczesnych stwierdzono stopniowo narastający poziom zagrożenia działania autobusów W_3 , wynikający ze zdarzeń drogowych i uszkodzenia ich systemów konstrukcyjnych, zwłaszcza w 2016 roku, spowodowany uszkodzeniami układu hamulcowego, kierowniczego i jezdznego. 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 . Ta sytuacja uległa znacznej poprawie w roku 2017. Bezpieczeństwo działania autobusów nowoczesnych i konwencjonalnych, oceniane wskaźnikiem W_3 , był wówczas zbliżone. Stwierdzono to na podstawie analizy usterkowości ich dziewięciu systemów konstrukcyjnych. Rozpatrując cały pięcioletni okres eksploatacji autobusów w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta, w 2013-2017 roku, stwierdzono, że bezpieczeństwo działania autobusów konwencjonalnych było 2,5 razy korzystniejsze niż autobusów nowoczesnych. Jest bardzo niepokojące, że pomimo zastosowania zaawansowanych technologii w autobusach Autosan 10LF Sancity oraz Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, po pięciu latach ich eksploatacji, wystąpiła tak wysoka wartość zagrożenia bezpieczeństwa transportu miejskiego W_3 w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem i transportem publicznym. W 2017 roku stwierdzono jednakże ogólnie dużą skuteczność i przydatność zintegrowanego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym miasta.

Bibliografia:

1. Bartczak K.: Scenariusze rozwoju ITS w polskim transporcie drogowym w latach 2008-2013 cz.1. Przegląd ITS, 1, 19-21, 2008.
2. Cempel: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. PWN, Warszawa 1989.

3. Cholewa W., Kosmowski K.T., Radkowski S.: Modele systemów oceny ryzyka i diagnostyki technicznej. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,
4. Kiba-Janiak M.: Key success factors for city logistics from the perspective of various groups of stakeholders. *Transportation Research Proceedings*, 12, 557-569, 2016.
5. Krystek R. (red.): Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.1, T.2, T.3. WKiŁ, Gdańsk 2009, 2010.
6. Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Rzeszowie na temat uszkodzeń autobusów w latach 2013-2017 roku. Materiały wewnętrzne, niepublikowane.
7. Singh, B., Gupta, A. Recent trends in intelligent transportation systems: a review. *The Journal of Transport Literature*, 9(2), 30–34, 2015.
8. Towpik K., Gołaszewski A., Kukulski J.: Infrastruktura transportu samochodowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
9. Woropay M., Bojar P.: Analiza i ocena uszkodzeń wybranych podzespołów autobusów oraz ich wpływ na zagrożenia w miejskim systemie transportowym. *Archiwum Motoryzacji* 2007, 2, 159-168.
10. Woś P., Michalski J., Wojewoda P.: Bezpieczeństwo autobusowego systemu transportu publicznego miast metropolitalnych Wrocławia i Rzeszowa w 2014 roku. *Autobusy, Bezpieczeństwo i ekologia*, 6, 481-487, 2016.

Analysis of safety of passenger transportation in modern and conventional buses operated in integrated municipal traffic and public transport management system

The article is an attempt to answer the question how advanced technologies used in modern city buses, are reflected in the actual reduction of the number of road accidents and improving the safety of use. The analysis concerns the period 2013-2017 of implementation and exploitation of sustainable public transport in the city. These were modern buses Autosan Sancity 10LF and Mercedes-Benz Citaro 12 CNG as well as conventional structures Jelcz 120 M/4 12 CNG and Solaris Urbino 12 CNG. The level of threat to the safety of urban transport resulting from the number of collisions and accidents was examined. The assessment was carried out using the W_3 indicator characterizing the level of transport system security risk caused also by the damage of bus systems in one year assessed: probability of failure of the analyzed P system (U^*) and significance of damage to these bus systems to the risk of urban transport security O.

Keywords: public transport safety, integrated urban traffic management system.

Autorzy:

dr hab. inż. **Jacek Michalski**, prof. PRz – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: jmichals@prz.edu.pl

dr inż. **Paweł Woś** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: pwos@prz.edu.pl