

NIUSZKADZALNOŚĆ AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W OKRESIE ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO TRANSPORTU PUBLICZNEGO RZESZOWA W LATACH 2013-2016

W artykule przedstawiono uszkodzalność autobusów i ich systemów konstrukcyjnych, stosowanych w komunikacji zbiorowej. Analiza dotyczy okresu 2013-2016 r. wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu publicznego w Rzeszowie. Wzięto pod uwagę autobusy napędzane sprężonym gazem ziemnym CNG (Compressed natural gas) oraz dla porównania zasilane olejem napędowym ON. Były to nowoczesne autobusy Autosan 10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG oraz konwencjonalne konstrukcje Jelcz 120 M/4 12 CNG i Solaris Urbino 12 CNG oraz inne. W badaniach, ograniczoną zdolność autobusów oceniono wartościami wskaźnika liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km przebiegu w ciągu jednego roku W_1 oraz w tym okresie wartością wskaźnika liczby uszkodzeń na 1000 km systemów autobusu W_2 (układów konstrukcyjnych i zespołów).

WSTĘP

Niezawodność maszyny, urządzeń oraz systemów to kombinacja trwałości, nieuszkodzalności, obsługiwalności, zapewnienia środków obsługi i przechowywalności. Termin niezawodność jest używany tylko do ich ogólnego nieliczbowego opisu [1, 2, 3], odmienne jak w klasycznych polskich podręcznikach [4, 5]. W publikacji [6] zaproponowano podstawowe miary nieuszkodzalności procesu drogowego transportu pasażerskiego (liczba uszkodzeń, średnia pracochłonność jednej naprawy, średni przebieg do pierwszego uszkodzenia i średni czas jednej naprawy) wraz z analizą podstawowych charakterystyk użytkowych autobusów: współczynnik gotowości, udział postojów, wykorzystanie czasu pracy, średni dobowy czas pracy, średni dobowy czas jazdy i średnia prędkość techniczna. Ocenę nieuszkodzalności autobusów, za pomocą wskaźnika liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km przebiegu w ciągu jednego roku W_1 oraz wartością wskaźnika liczby uszkodzeń na 1000 km systemów autobusu W_2 , zamieszczono dla publicznej komunikacji miejskiej w pracy [7] i dla transportu międzymiastowego w artykule [8].

Zrównoważony rozwój transportu to proces i działania sprzyjający zmianom spójności gospodarczej i społecznej, determinującej poprawę jakości środowiska naturalnego poprzez ograniczenie szkodliwego wpływu produkcji i konsumpcji [9]. W Polsce ochrona środowiska i koncepcja zrównoważonego rozwoju ma rangę konstytucyjną [10]. Rozdział 1, Artykuł 5, Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej ma treść - Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże dziedzictwa narodowego oraz zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju. Zrównoważony transport można ocenić: zużyciem energii, emisją gazów cieplarnianych, emisją zanieczyszczeń powietrza oraz liczbą osób zabitych w wypadkach drogowych [11, 12]. W polityce transportowej UE (Unii Europejskiej) [13] funkcjonują także dwa inne paradygmaty, mające podłoże w idei zrównoważonego rozwoju tj. nowe podejście do wzorców produkcji i konsumpcji usług - paradygmat przesunięć

gałęziowych (shift) oraz paradygmat rozdzielania wzrostu gospodarczego od aktywności transportu (decoupling). Prawidłowe, społecznie odpowiedzialne, ekonomicznie rozsądne i dalekowzroczne przydzielenie zasobów jest jednym z podstawowych narzędzi kształtowania zrównoważonego rozwoju [14]. Kształtowanie systemu transportowego w aspekcie proekologicznym i opracowanie modelu proekologicznego systemu transportowego Polski jest przedstawione w projekcie EMITRANSYS [15]. Celem projektu było opracowanie modelu proekologicznego systemu transportowego Polski. Transport zbiorowy jest alternatywą dla nieefektywnej komunikacji indywidualnej [11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Nawyk korzystania z samochodu osobowego a nie z transportu publicznego, dotyczy zwłaszcza mężczyzn [22]. Związany jest ze statusem majątkowym, słabym dostrzeganiem celów społecznych i niedostateczny ich uświadomieniem jak również trudnej socjologicznej zmiany. Transport zbiorowy stwarza możliwość bardziej efektywnego wykorzystania środków transportowych, dróg publicznych, pozwala na bardziej racjonalne korzystanie ze środowiska naturalnego poprzez redukcje konsumpcji paliw, ograniczenie spalin i hałasu [23]. Umożliwia sprawne przemieszczanie się mieszkańców, stanowi o jakości ich życia, skracając czas niezbędny do dotarcia do miejsca zatrudnienia, kształcenia się a także wypoczynku i w innych celach. Przesunięcie modalne z samochodu osobowego do wysokiej, jakości transportu publicznego jest często postrzegane, jako środek poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, przy jednoczesnym osiągnięciu innych celów społecznych i politycznych jak: ochrona środowiska, lepsze wykorzystanie środków transportu, punktualność i korzyść ekonomiczna [24]. Gmina organizuje transport miejski. Także gmina, powiaty jak i województwa samorządowe tworzą związki celowe w zakresie lokalnego transportu zbiorowego [25]. Tworzenie spójnego systemu transportu w miastach jest zadaniem złożonym wymagającym rozwiązań kompleksowych, wyboru dobrych praktyk i standardów [9, 14, 15, 16, 26, 27].

Z monografii [16] wynika, że około 50% mieszkańców przemieszcza się po mieście średniej wielkości samochodem osobowym. Wskazano także wiele powodów ich zniechęcenia do korzystania z komunikacji miejskiej, co stanowi wyraźny sygnał o ko-

nieczności wprowadzenia zmian w infrastrukturze i organizacji zbiorowego transportu publicznego. Zamieszczona analiza czynnikowa potwierdziła wyraźne różnice w ocenie jakości miejskich usług transportowych miast, Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra i Jelenia Góra, dotyczących postulatów przewozowych (czas, wygoda, koszt i bezpieczeństwo podróżowania) oraz dodatkowych elementów jakości usługi (warunków oczekiwania na przystankach, dostępności sieci komunikacji miejskiej, ceny biletów, bezpośredniości połączeń i innych). W latach 1986-2009 odnotowano w Polsce ponad dwukrotny spadek liczby przewozów pasażerów transportem miejskim z 9,10 mld osób do 3,78 mld osób [16]. W mieście Rijad w Arabii Saudyjskiej stwierdzono znaczne poparcie mieszkańców dla przekształcenia istniejącej sieci transportowej i środków zarządzania popytem turystycznym wraz z wprowadzeniem systemu transportu publicznego opartego o metro i autobus [28]. Mieszkańcy pragną ulepszenia infrastruktury ułatwiającej dostęp do dworców, wyboru infrastruktury zorientowanej na ruch tranzytowy, odpowiednich opłat parkingowych, oddzielnego wagonu dla rodzin i promowania bezpieczeństwa obiektów komunikacji miejskiej. Stwierdzono także osoby preferujące transport osobowy, ze zwiększeniem infrastruktury drogowej dostosowanej dla jego wzrostu. Jakość usług publicznego transportu autobusowego można ocenić także na podstawie: częstości kursów, czasu przejazdu i prędkości ruchu [29]. Inną cechą tej jakości to: wydzielony pasy ruchu, autobusy z trzema drzwiami, komfort i czystość, bliskość przystanków, punktualność poszczególnych kursów, ograniczona liczba przesiadek i przyjazny system biletowy.

Na podstawie analizy porównawczej kosztów środowiskowych, energetycznych i finansowych różnych napędów autobusów, stosowanych w transporcie publicznym Belgradu wynika, że autobus o zasilaniu gazowym CNG jest najbardziej opłacalny ekonomicznie. Całkowita cena eksploatacyjna wynosiła 87 USD na 100 km [30]. Trolejbusowy transport będzie bardziej ekonomicznie uzasadniony (na podstawie wartości zaktualizowanej netto NPV (Net present value) tylko w przypadku wykonywania powyżej 230 kursów przez 16 godzin eksploatacji w dniu roboczym. Analizowano autobusy miejskie: nowoczesny autobus diesla, trolejbus, autobus gazowy CNG z silnikiem o zapłonie iskrowym, elektryczny autobus z akumulatorem LiFePO₄ i elektryczny autobus z ultra-kondensatorem. Miejski Zakład Komunikacji w Przemyśle odnotował koszt przejechania 100 km autobusami zasilanymi sprężonym gazem ziemnym (Jelcz PR120M/1 CNG i Jelcz PR110) o około 25% wyższy oraz koszt podróży 1 pasażera na odcinku 1 km nawet o 60% wyższy, niż autobusami zasilanym olejem napędowym (Jelcz PR120M) [31]. Istotny wpływ na koszty przewozowe mała cena gazu ziemnego, oleju napędowego i inne. Względy ekonomiczne zdecydowały, że w 2017 roku Zarząd Transportu Miejskiego w Rzeszowie rozstrzygnął przetarg na zakup nowych nowoczesnych, klimatyzowanych i niskopodłogowych autobusów, w tym 40 zasilanych olejem napędowym (12-metrowe i 18-metrowe przegubowe) i 10 elektrycznych. Autobusy powodują małą emisję zanieczyszczeń powietrza, spośród innych środków transportu drogowego: tlenek węgla 1,0%, niemetanowe lotne związki organiczne 2,7%, tlenki azotu 5,0% i cząstki stałe 5,4% [12]. Z kolei emisja tych zanieczyszczeń przez samochody osobowe ma wartości: 74,6%, 50,3%, 37,9 i 18,1%, odpowiednio. Samochód dostawczy, Volkswagen Caddy Eco Fuel, zasilany sprężonym gazem ziemnym, w rzeczywistych warunkach miejskich Poznań, ma wartość wskaźnika emisji tlenu węgla 0,27, węglowodorów 0,35 i tlenków azotu 0,23, co świadczy o nieprzekraczaniu średniej emisji tych składników w porównaniu z normą Euro 4 [32]. Ze względów ekologicznych, należy także zaznaczyć że autobusy zasilane CNG uzyskują najniższą emisję drogową [g/km] NO_x, PM i CO₂, lecz dość wysoką emisję drogową HC (0,20

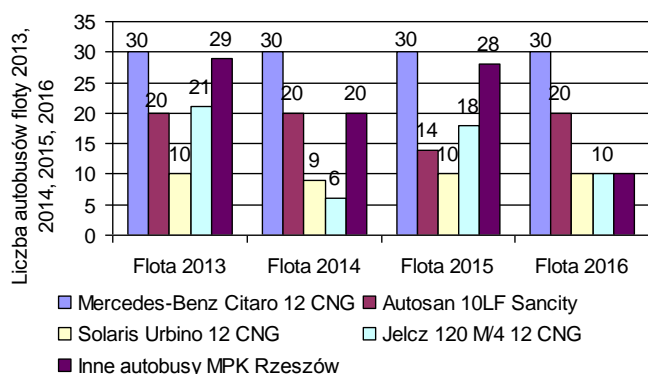
g/km) i CO (0,30 g/km) [30]. Występuje także obniżenie poziomu głośności pojazdu CNG w stosunku do zasilanego paliwem konwencjonalnym, o 3-7 dB.

Światowym liderem w liczbie samochodów napędzanych CNG jest Argentyna (miesięczna średnia sprzedaż CNG to 239 815 000 Nm³ do silników zarówno z zapłonem iskrowym jak i z samoczynnym) na kolejnym miejscu znajduje się Brazylia, Pakistan oraz na wysokim miejscu jest także USA [33]. Włochy zajmują pierwsze miejsce w Europie pod względem liczby eksploatowanych pojazdów CNG. Polska ma odległe miejsce z nieco ponad trzema tysiącami pojazdów napędzanych CNG (miesięczna średnia sprzedaż 760 000 Nm³). Gaz ziemny ma ważne korzyści dla konsumentów, środowiska i gospodarki jako całości i stanowi kluczowe rozwiązanie dla redukcji emisji CO₂ i poprawy jakości powietrza [34].

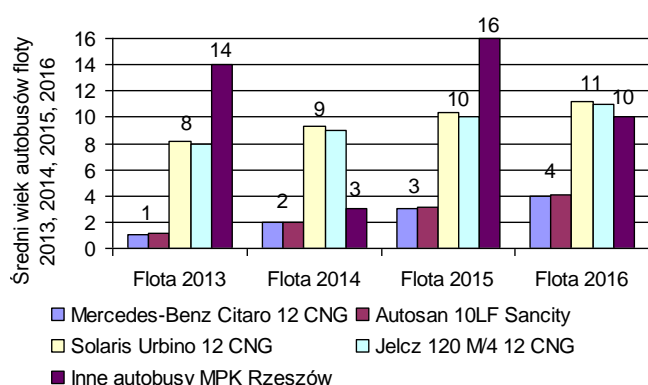
Stosowanie nowoczesnych konstrukcji autobusów miejskich jest w pełni uzasadnione, także z uwagi na zużycie globalne energii, poziom emisji związków chemicznych spalin i poprawę bezpieczeństwa na drogach [24, 35, 36]. Także emisja dwutlenku węgla na pasażerokilometr [pkm] przez autobus i pociąg osobowy jest jedną z najniższych spośród gałęzi transportu. W USA wynosi odpowiednio 66,6 g/pkm i 106,9 g/pkm [37]. 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. W UE podjęto wiele wysiłków w celu poprawy bezpieczeństwa transportu drogowego, w tym bezpieczeństwa pojazdów i drogi, od elementów bezpieczeństwa biernego/pasywnego do zaawansowanych systemów bezpieczeństwa czynnego/aktywnego [38]. Według World Economic Forum [39] 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%. Łącznie 34% energii paliwowej służy do przemieszczania pojazdu. W autobusach miejskich 33% energii jest wykorzystywane do pokonania tarcia w silniku, przekładniach, oponach, sprzęcie pomocniczym, hamulcach i inne. Rocznie autobusy miejskie zużywają przeciętnie 12700 dm³ oleju napędowego. W przypadku autobusów miejskich hybrydyzacja może obniżyć zużycie paliwa, od 25% do 30%, ale w przypadku autokarów, na długich dystansach, jest to niewielkie zmniejszenie. Ograniczenie stosowania silnika spalinowego zasilanego olejem napędowym, wykorzystanie gazu ziemnego i innych paliw alternatywnych, energii elektrycznej z akumulatorów i ogniwi paliwowych [40], oraz energii hamowania rekuperacyjnego [41] może również zmniejszyć straty w wyniku tarcia. Energetycznie autobusy miejskie i samochody dostawcze z napędem elektrycznym są zdecydowanie korzystniejsze niż samochody ciężarowe jak i ciężarowe z przyczepą. Energia wykorzystywana do pokonania tarcia w pojazdach elektrycznych szacowana jest na mniej niż połowę w porównaniu z konwencjonalnymi pojazdami typu diesla. Straty ciepła i tarcia powodują, iż maksymalna sprawność silnika wysokoprężnego w autobusie wynosi 43%. Z kolei odpowiednie do napędu autobusu, silniki elektryczne czteropolewe asynchroniczne, osiągają maksymalną sprawność ponad 90%. Zastosowanie odmiennych niż olej napędowy źródeł energii przekłada się zwykle na zmniejszenie emisje toksycznych składników spalin i dwutlenku węgla. [42] Zużycie energii elektrycznej w autobusach wynosi 1,24-2,48 kWh/km z kolei dla autobusów diesla ma znacznie większą wartość 1,7-3,3 kWh.

Przewozy realizowane autobusami stanowią w Polsce podstawę systemu komunikacji zbiorowej w większości miast, a także na trasach pomiędzy miejscowościami o mniejszej liczbie mieszkańców [38]. Z elementów technicznych pojazdu, istotna jest przede wszystkim konstrukcja pojazdu [43, 44, 45], jego właściwości dynamiczne i stan techniczno-eksploatacyjny, czyli bezpieczeństwo czynne i bezpieczeństwo bierne [38, 46, 47]. Wymagania techniczne autobu-

sów zawarte są w aktach prawnych, normach i publikacjach [3, 45, 48].



Rys. 1. Liczebność floty autobusów MPK Rzeszów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem ich rodzaju i typu



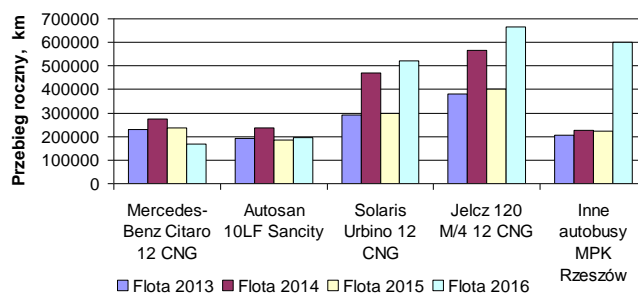
Rys. 2. Średni wiek analizowanych autobusów dla wyszczególnionych rodzajów i typów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016

Współczesna sytuacja gospodarcza, silna konkurencja, rosnąca złożoność konstrukcji, skracanie cykli życia pojazdów oraz presja na ograniczanie kosztów powodują, że jakość także autobusów, kształtuje się poniżej oczekiwań nabywców [49]. Wpłynąć to może nie tylko na użyteczność czy komfort, ale także na straty materialne, zdrowie i życie. W pełni zautomatyzowany system transportu drogowego ARTS (Automated road transport systems) funkcjonuje na stałe w Rivium w Rotterdamie [50]. Ważną jego zaletą są niższe koszty eksploatacji niż autobusów, wyższa częstotliwość kursowania oraz zwiększona elastyczności w dostosowywaniu popytu do zmiennych potrzeb. System ARTS jest nieakceptowany w innych miastach Europy, jeśli czas podróży i taryfa są takie same jak w tradycyjnym autobusie. Także szybki transport autobusowy BRT (Bus rapid transit) ma także ograniczone zainteresowanie, wymaga bowiem dużych kosztów infrastruktury [51].

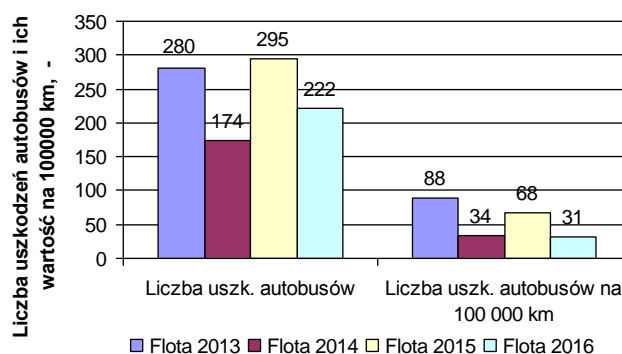
Zintegrowany Plan Rozwoju Transportu Publicznego Rzeszowa, zawierający budowę systemu integrującego transport publiczny Miasta Rzeszowa i okolic, był projektem współfinansowany ze środków UE, w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego zrealizowanym, przez Zarząd Transportu Miejskiego w Rzeszowie, Miejski Zarząd Dróg w Rzeszowie, Urząd Miasta Rzeszowa i Biuro Gospodarki Mieniem Miasta Rzeszowa, w okresie przygotowania i realizacji od 04.2007 r. do 06.2015 r. [52, 53]. Projekt powstał z uwagi na istniejące problemy w komunikacji publicznej, zarządzaniem ruchem i siecią drogową oraz parkowaniem. Efektem tych problemów było prawdopodobieństwo negatywnego wpływu na potencjał rozwojowy i atrakcyjność Rzeszowa i sąsiednich gmin, wynikające z utrudnionego dostępu do centrum całego obszaru oraz nieefektywnego transportu wewnątrz samego miasta. W

ramach projektu zostały wdrożony Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym wraz z dedykowaną mu platformą teleinformatyczną, mający podsystemy: Obszarowego Sterowania Ruchem Drogowym, Zarządzania Transportem Publicznym, Informacji Pasażerskiej i Elektronicznego Poboru Płat. Zrealizowano także zakup nowoczesnego taboru autobusowego, przebudowano/rozbudowano lokalny układ komunikacyjny oraz zmodernizowano infrastruktury transportowe na potrzeby transportu publicznego. Rozbudowano i przebudowano skrzyżowania na drogach powiatowych miasta Rzeszowa wraz z wykonaniem służ autobusowych. Wdrożony projekt ITS (Intelligent transportation systems), obejmujący infrastrukturę, pojazdy i użytkowników, zapewnił połączenie technologii informacyjnych, komunikacyjnych i infrastrukturalnych poprzez komunikacje systemów: zarządzania, informacji i bezpieczeństwa.

W ramach projektu zakupiono 80 nowoczesnych ekologicznych autobusów, spełniających normę emisji spalin EEV - czysty pojazd (standard leży pomiędzy poziomami Euro 5 i Euro 6): 30 autobusów 12-metrowych na olej napędowy, 30 autobusów 12-metrowych na gaz ziemny i 20 autobusów 10-metrowych na olej napędowy. Zakupiony tabor został wyposażony w urządzenia współpracujące z systemami Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym Rzeszowa. W Rzeszowie na 182 liniowych autobusów, na gaz CNG jeździ 70, stanowi to 38% taboru.



Rys. 3. Wartości przebiegu rocznego floty autobusów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016



Rys. 4. Wartości średniej liczby uszkodzeń autobusów i ich wartość na 100 000 km przebiegu dla floty autobusu w latach 2013, 2014, 2015 i 2016

1. WARUNKI BADAŃ

Obiektem badań były autobusy eksploatowane w rzeczywistej sieci komunikacji miejskiej. Natomiast przedmiotem badań była nieuszkodzalność autobusów i ich wybranych systemów konstrukcyjnych (układów konstrukcyjnych i zespołów). 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 nieuszkodzalność autobusów i ich systemów konstrukcyjnych: układ hamulcowy, układ

elektryczny, elementy nadwozia, układ napędowy, silnik z osprzętem, układ jezdny, układ zawieszenia, układ kierowniczy i kratownica. Były to autobusy nazwane jako 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 (z 2013 i 2015 r.), Mercedes-Benz Citaro 12 ON (z 2014 r.) oraz Jelcz M125 M/4 CNG (z 2016 r.). Zamieszczono kolejnie: liczebność analizowanych autobusów w poszczególnych latach okresu użytkowania sieci integrującej transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic z zaznaczeniem ich rodzaju i typu (rys. 1), średni wiek autobusów (rys. 2) oraz przebiegi roczne floty autobusów w latach 2013-2016 (rys. 3). Z charakterystycznych cech komunikacji miejskiej podano także średnią liczbę uszkodzeń autobusów i ich wartość na 100 000 km przebiegu (rys. 4).

Ocenę liczby uszkodzeń autobusów i ich układów, przypadającą na tysiąc kilometrów, w ciągu jednego roku użytkowania, wyznaczono za pomocą wartości wskaźników W_1 i W_2 . Pierwszy wskaźnik W_1 dotyczy liczby uszkodzeń autobusu na 1 000 km:

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

gdzie:

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

P – sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze, w ciągu 1 roku.

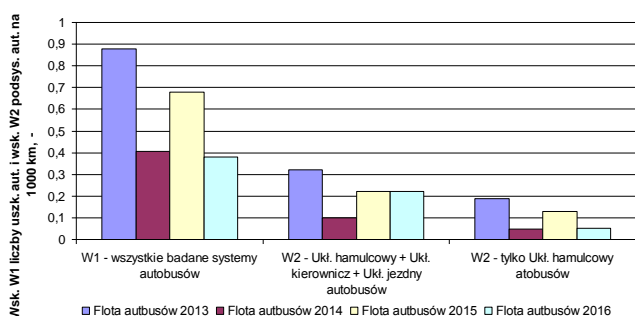
Wartości wskaźnika liczby uszkodzeń wybranego systemu konstrukcyjnego (podsystemu autobusu) na 1000 km W_2 opisuje zależność:

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

gdzie:

LU^* – liczba uszkodzeń i-tego systemu konstrukcyjnego, w ciągu 1 roku inicjujących zdarzenia niepożądane,

P – sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze, w ciągu 1 roku.



Rys. 5. Wartości wskaźnik W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km przebiegu floty z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 oraz wartości wskaźnika W_2 liczby uszkodzonych układu hamulcowego i wskaźnika W_2 łącznej liczby uszkodzonych układów: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego

Nowoczesne autobusy miejskie niskopodłogowe klasy MIDI, Autosan M10LF Sancity (M10LF), jedno bryłowe dwuosiove, o trzech drzwiach w układzie 2-2-2, mają długość 10 493 mm, szerokość 2 550 mm i wysokość 3 100 mm, masę własną 9 900 kg, dopuszczalną masę całkowitą 18 000 kg, rozstaw osi 6 100 mm oraz wysokość podłogi w drzwiach 320 mm. Liczba miejsc ogółem wynosi 95 oraz liczba miejsc siedzących 17. Autobusy, producent z Sanoka Autosan S.A., zaopatrzył w 6-cylindrowy rzędowy silnik

wysokoprężny Iveco NEF N60ENT EEV o pojemności skokowej 5,9 dm³, mocy maksymalnej 194 kW osiąganej przy 2 500 obr/min oraz maksymalnym momencie obrotowym 1 000 N·m przy 1 250 obr/min. Jest on zblokowany z 6-biegową automatyczną skrzynią przełożeń Allison T280R. W układzie jezdny zastosowano niezależną oś przednią ZF RL75EC oraz tylny most portalowy ZF AV 132/80. Zawieszenie pojazdu sterowane jest przez elektroniczny system ECAS, pozwalający na regulowanie wysokości prześwitu podwozia oraz wykonanie przykłąku prawej strony nadwozia. Autobus ma układ hamulcowy z systemami bezpieczeństwa ABS (Anti-lock braking system), ASR (Acceleration slip regulation) i EBS (Electronic brake system) oraz instalację elektryczną bazującą na magistrali CAN (Controller area network). Konstrukcję nadwozia wykonaną z rur stalowych kwadratowych i prostokątnych (stal podwyższonej odporności na korozję) łączonych ze sobą za pomocą spawania. Poszycie zewnętrzne z paneli aluminiowych oraz tworzyw sztucznych mocowane są do kratownicowego szkieletu nadwozia za pomocą metody klejenia, technologia firmy Sika. Pokrywy boczne są aluminiowe, z kolei ścianę czołową i tylną, wykonano z laminatu poliestrowo-szklanego oraz dach z poliestru. Do wykończenia ścian bocznych wnętrza oraz sufitu zastosowano płyty laminowane, natomiast podłogę pokryto wykładziną antypoślizgową. Autobus wyposażono w systemy gaszenia pożaru silnika, klimatyzację przestrzeni pasażerskiej i stanowiska kierowcy oraz systemy: monitorowania, zliczania liczby pasażerów, sprzedaży biletów i zestawy tablicowe diodowe z informacjami dla podróżnych oraz elektroniczne kasowniki. W rzeszowskich autobusach montowana jest opona Michelin X InCity XZU3 o rozmiarze 275/70R22,5, produkowaną w technologii Michelin Durable Technologies. Autosany M10LF Sancity są w MPK Rzeszów taborem liniowym od 14 stycznia 2013 roku, w liczbie 20 egzemplarzy, które wyprodukowano w latach 2012/2013.

Z kolei autobusy jednocielone dwuosiove, Mercedes-Benz Citaro 12 CNG (Mercedes-Benz O530 CNG o podwoziu Mercedes-Benz 628), klasy MAXI, od 1997 roku są produkowane w Mannheim (Niemcy) oraz Ligny-en-Barrois (Turcja). Zakupiona wersja nisko wejściowa LE (Low entry) ma długość 12 135 mm, szerokość 2 550 mm, wysokość łącznie z klimatyzacją 3 120 mm, masę własną 10 770 kg, dopuszczalną masę całkowitą 19 000 kg, rozstaw osi 5 900 mm oraz 3 drzwi w układzie 2-2-2, wysokość podłogi w drzwiach wynosi od 320 do 370 mm. Liczba miejsc stojących 77 oraz liczba miejsc siedzących 28. Silnik Mercedes-Benz M 447 hLAG o pojemności 11 967 cm³ i mocy 185 kW przy 2000 obr/min ma maksymalny moment obrotowy 1050 N·m przy 1000-1400 obr/min. Skrzynia biegów marki ZF Ecolife jest automatyczna 6 stopniowa. Układ kierowniczy ZF zapewnia wspomaganie kierownicy. Oś przednia ZF gwarantuje niezależne zawieszenie kół z kolei oś napędowa ZF jest portalowa. Hamulce robocze są tarczowe, sterowane elektronicznie. Systemy bezpieczeństwa wspomagające pracę kierowcy to: układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania ABS, system kontroli trakcji ASR - nie dopuszczający do poślizgu kół osi napędowej pojazdu podczas przyspieszania oraz elektroniczny układ rozdziału siły hamowania EBS (Electronic stability program) oraz systemy wspomagające jazdę wstecz. Silnik spełnia europejski standard emisji spalin Euro 5 i EEV, ma także system zapobiegający powstaniu pożarów. Pojemność zbiorników CNG wynosi 195 kg (265 m³). Stalowa kratownica autobusów Citaro wykonana jest z rur kwadratowych i prostokątnych. Jest to nowoczesną konstrukcją o małym przemieszczeniu elementów podczas wywrótu, czyli o dużym bezpieczeństwie przestrzeni życiowej, co jest wymagane normą EKG-ONZ R66/01. Ma ona w części czołowej dodatkową konstrukcję pochłaniającą energię zderzenia. Nadwozie zostało wykonane ze stali o podwyższonej jakości, zabezpieczonej przed korozją. Autobus wyposażono w światła LED (Light-emitting

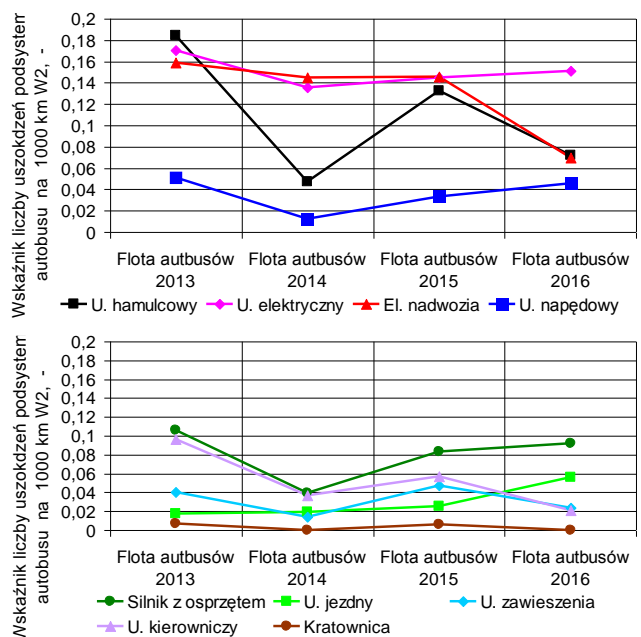
diode) z doświetlaniem zakrętów, siedzenia są nieregulowane, oparcie foteli niskie bez pasów bezpieczeństwa. Autobusy Mercedes-Benz O530 CNG, wyprodukowane w latach 2012/2013, są eksploatowane w MPK Rzeszów od 31 maja 2013 w liczbie 30 egzemplarzy.

Pozostałe autobusy to konstrukcje nowoczesne lub zbliżone do konwencjonalnych [43, 44, 45]. Autobus Mercedes-Benz Citaro 12 ON jest zbliżony do autobusu Mercedes-Benz Citaro 12 CNG za wyjątkiem silnika spełniającego wymagania normy emisji spalin UE Euro 6. Zastosowany silnik wysokoprężny, 6 cylindrowy w układzie rzędowym, OM 936/OM 936h ma pojemność skokowa 7 700 cm³, moc maksymalną 220 kW przy 2 200 obr/min i maksymalny moment obrotowy 1 200 N·m, przy prędkości obrotowej 1 200 obr/min. Układ wtryskowy Common Rail zaopatrzono w system BlueEfficiency Power oraz system SCR (Selective catalytic reduction) w technologii BlueTec.

Solaris Urbino 12 CNG i Solaris Urbino 12 ON to 12 metrowe niskopodłogowe autobusy miejskie klasy MAXI z systemami bezpieczeństwa ABS, ASR, EBS i ESP. Liczba drzwi wynosi 3 o układzie 2-2-2, wysokość podłogi w drzwiach od 320 mm do 360 mm po zastosowaniu przykłąku 70-80 mm. Liczba miejsc siedzących 29 i liczba miejsc ogółem 105. Stosowany silnik zasilany CNG to Iveco Cursor 8 F2BE0642A o pojemności 7,790 dm³ i mocy maksymalnej 200 kW. Zbiorniki gazu mają pojemności 1 240 dm³, co przy jego zużyciu około 48 m³/100 km, zapewniają zasięg 500 km. Silniki Cummins ISB6.7EV 225B zasilane olejem napędowym mają system wtrysku Common Rail, pojemność skokową 6,7 dm³, moc maksymalną 165 kW oraz moment obrotowy maksymalny 930 N·m. Skrzynia biegów jest Voith D 854.3. Jest to przekładnia hydrodynamiczno-mechaniczna przeciwbieżna mająca liczbę przełożeń 4 z 1 przełożeniem bezstopniowym i pozostałymi przełączanymi automatycznymi. Z przodu, producent Solaris Bus & Coach S.A. z Bolechowa, zamontował niezależnie zawieszono oś ZF RL 75 EC, zaś z tyłu osi napędową ZF AV 132.

Jelcz 120 M/4 12 CNG to 12-metrowych, średniopodłogowy autobus miejskich o trzech dwuskrzydłowych drzwiach w układzie 2-2-2 z wysokością podłogi w drzwiach od 642 mm do 844 mm. Ma on przednią osi portalową (sztynną belkę) Jelcz 65N, własnej konstrukcji Jelcza. Silnik MAN E 2866 DUH03 o pojemności 11 967cm³ i mocy maksymalnej 180 kW jest zasilany ze zbiorników o pojemności 870 dm³ CNG, co zapewnia zasięg około 350 km. Autobus ma skrzynię biegów automatyczną 4 stopniową, DIWA.3E firmy Voith, typu D854.3E, zapewniająca brak konieczności użycia sprzęgła przy zmianie z 1 na 2 przełożenie, dzięki konwerterowi hydrodynamiczno-mechanicznego rozdziału mocy.

Jelcz M125 M/4 CNG to niskopodłogowy autobus miejski klasy MAXI, o liczbie drzwi 3 w układzie 2-2-2 i wysokości podłogi w drzwiach 349 mm z układem bezpieczeństwa ABS, ASR i EBS. Liczba miejsc ogółem 86 i liczba miejsc siedzących 28. Zastosowany silnik MAN E2866 DUH03 o pojemności 11,97 dm³ jest zasilany gazem CNG i ma moc maksymalną 180 kW. Na dachu tego modelu znajduje się 9 kompozytowych zbiorników przeznaczonych na gaz. Masa autobusu M125M/4 jest o prawie 2 tony większa niż modelu wyposażonego w silnik diesla, postanowiono więc wyposażyć ten pojazd w przednią oś portalową MAN VOK-07B w miejsce polskiej osi portalowej Jelcz 65N, stosowanej w innych niskopodłogowych modelach tej marki. Zbiorniki gazu są tutaj o pojemności wynoszącej 1240 dm³ co zapewnia zasięg 430 km. Autobus ma także skrzynię biegów Voith D854.3E. Wyprodukowano w Jelczu-Laskowicach 11 sztuk tego modelu: 2003 - 1 sztuka, 2004 - 8 sztuk, 2005 - 1 sztuka, 2006 - 1 sztuka. Wszystkie wyprodukowane pojazdy eksploatowane są przez MPK Rzeszów.

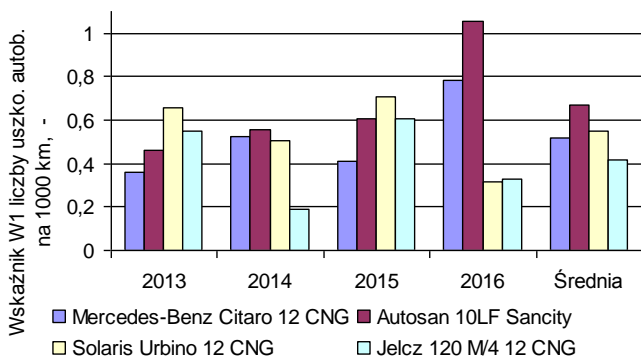


Rys. 6. Wskaźnik liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemów autobusów W_2 na 1000 km dla floty MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem wyodrębnionych podsystemów

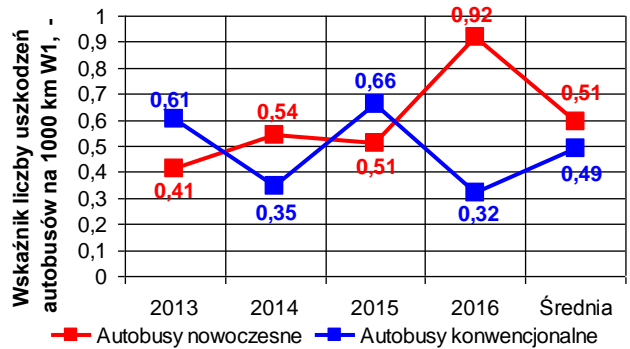
2. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rys. 4 zamieszczono liczbę uszkodzeń autobusów LU w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 która była zmienna i największa w 2015 roku. Z kolei rys. 5 zawiera wartości wskaźnik W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1 000 km przebiegu floty z lat 2013, 2014, 2015 i 2016. Zamieszczono tam porównawczo wartości wskaźnika W_2 liczby uszkodzonych układów hamulcowych oraz wartość wskaźnika W_2 łącznej liczby uszkodzonych układów: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego. Z kolei liczba uszkodzeń autobusów na 100 000 km przebiegu, w okresie analizowanych 4 lat, jest prawie malejąca (rys. 4). Podobne wnioski wynikają z analizy wartości wskaźnik W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1 000 km przebiegu (rys. 5). Można tam także zauważyć, na podstawie wartości wskaźnika W_2 liczby uszkodzonych systemów konstrukcyjnych na 1 000 km, że układ hamulcowy ma znaczący wpływ na uszkadzalność autobusu. Łączna wysoka wartość wskaźnika W_2 dla uszkodzonych układów: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego świadczy o dużym zagrożeniu bezpieczeństwa pojazdu. Jednocześnie dużo uszkodzeń systemów konstrukcyjnych (rys. 6), na podstawie wartości wskaźnik liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemów autobusów W_2 na 1 000 km dla floty z lat 2013-2016, dotyczy: elementów nadwozia, układu elektrycznego oraz hamulców (zwłaszcza z roku 2013 i 2015). Najmniej uszkodzeń ma kratownica autobusów. Jest cechą charakterystyczną, że flota autobusów Autosan M10LF Sancity i Mercedes-Benz Citaro 12 CNG doznawała z wpływem okresu eksploatacji systematycznemu zwiększeniu liczby uszkodzeń na 1 000 km przebiegu (rys. 7). Z kolei autobusy Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG miały ich coraz mniej (za wyjątkiem 2015 roku). Także średnia wartość wskaźnika liczby uszkodzonych autobusów na 1 000 km jest korzystniejsza dla tej drugiej grupy. Dla poszczególnych lat, okresu 2013-2016, można prześledzić uszkadzalność tych grup autobusów na rys. 8. Mniejszą zmienność liczby uszkodzeń na 1000 km przebiegu w analizowanym okresie mają autobusy nazwane konwencjonalne jak i ich systemy konstrukcyjne także co do wartości średniej (rys. 8 i 9). Szczegółowe wartości wskaźnika liczby uszkodzeń systemów konstrukcyjnych dla autobusów; Autosan M10LF Sancity, Mercedes-Benz Citaro 12

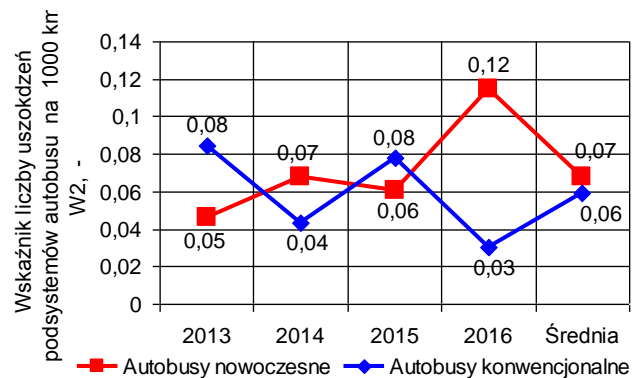
CNG, Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG zamieszczono na rys. 10, z podaniem wartości średniej wskaźnika W_2 . Należy także zauważyć, że autobusy nowoczesne mają nieco korzystniejszą (mniejszą) uszkodzalność układu hamulcowego lecz bardzo zbliżoną do autobusów konwencjonalnych uszkodzalność łączną układu hamulcowego, kierowniczego i jezdnego (rys. 11). Wartości wskaźnika liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemów autobusów W_2 na 1000 km dla poszczególnych lat użytkowania floty MPK Rzeszów, z wyszczególnieniem wyodrębnionych systemów konstrukcyjnych zamieszczono na rys. 12. Uszkodzalność głównych zespołów autobusów ulegała dość dużym zmianom, jednak najczęściej w analizowanym okresie była ona coraz mniejsza. Wyjątkiem jest układ jezdny, którego uszkodzenia były systematycznie większe z czasem użytkowania. Szczegółowe wartości wskaźnika uszkodzeń W_2 dziewięciu podsystemów autobusów dla całej floty z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 obrazuje rys. 13. Na jego podstawie opracowano rys. 14, wartość wskaźnika liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemu autobusu W_2 na 1000 km dla autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan 10LF Sancity) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG). Autobusy nowoczesne charakteryzują się jedynie mniejszą uszkodzalnością silnika. Mają one więcej uszkodzeń układu elektrycznego, elementów nadwozia oraz zbliżoną uszkodzalność układu hamulcowego, układu napędowego, układu jezdnego (lecz gorszą) jak i zbliżoną uszkodzalność układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy (korzystniejszą mniejszą). Wskaźnik liczby uszkodzeń systemów autobusów W_2 na 1000 km wszystkich analizowanych autobusów MPK Rzeszów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 zamieszczono na rys. 15. Obrazuje on, 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 12 ON, w roku 2013 miał jedną z największych wartości uszkodzeń. Również w roku 2015 ich uszkodzalność systemów konstrukcyjnych W_2 była bardzo wysoka. Z kolei uszkodzalność systemów konstrukcyjnych autobusów Mercedes-Benz Citaro 12, zasilanych CNG i ON w roku 2014, jest bardzo zbliżona. Z kolei porównanie autobusów Jelcz zasilanych gazem CNG zamieszczono na podstawie wartości W_2 z roku 2016. Autobusy Jelcz M125 M/4 CNG w porównaniu z autobusami Jelcz 120 M/4 12 CNG mają



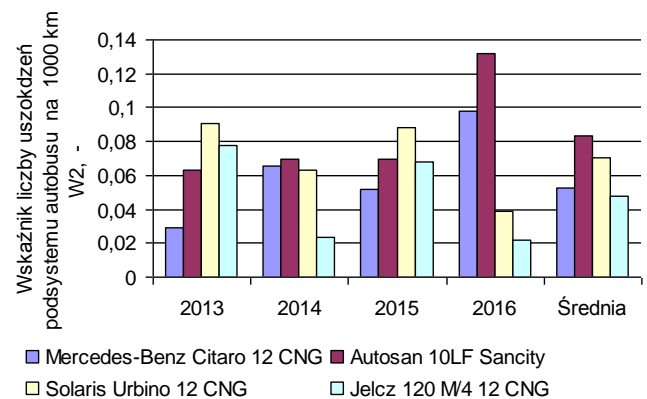
Rys. 7. Wartości wskaźnik W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1 000 km przebiegu czterech podstawowych rodzajów autobusów w prowadzonej analizie z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wartości wskaźnika W_1 okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic



Rys. 8. Wartości wskaźnika W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1 000 km przebiegu autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan Sancity 10 LF i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem średniej wartości wskaźnika W_1 okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic

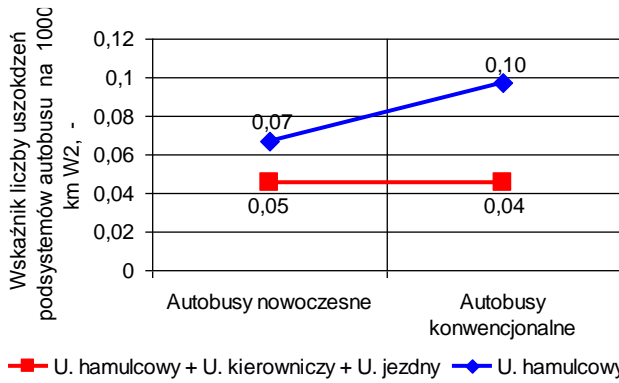


Rys. 9. Wskaźnik liczby uszkodzeń wszystkich podsystemów autobusu W_2 na 1 000 floty autobusów nowoczesnych i autobusów konwencjonalnych w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczeniem średniej wartości wskaźnika W_2 okresu analizy

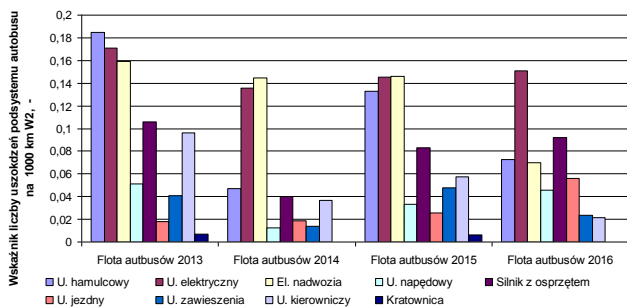


Rys. 10. Wskaźnik liczby uszkodzeń podsystemu autobusu W_2 na 1 000 km czterech podstawowych rodzajów autobusów, o zasilaniu LPG, z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 z zaznaczoną tendencją zmiany średniej wartości wskaźnika W_2 okresu użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic

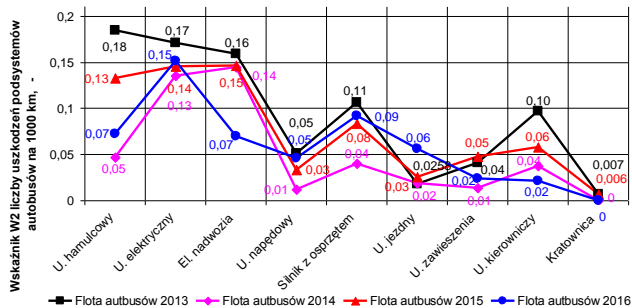
zdecydowanie mniejszą (korzystną) nieuszkodzalność, co dotyczy zwłaszcza układu elektrycznego, elementów nadwozia, układu napędowego, silnika z osprzętem i układu jezdnego. Zbliżoną ich uszkodzalność dotyczy układu hamulcowego, układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy.



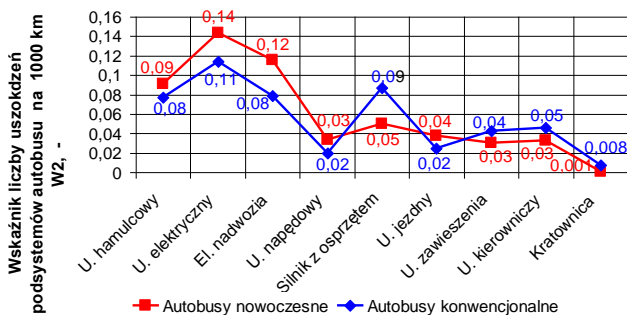
Rys. 11. Wskaźnik liczby uszkodzeń W_2 na 1000 km układu hamulcowego oraz wskaźnik W_2 łącznie układu hamulcowego, kierowniczego i jezdny w okresie 2013-2016 użytkowania systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa oraz okolic



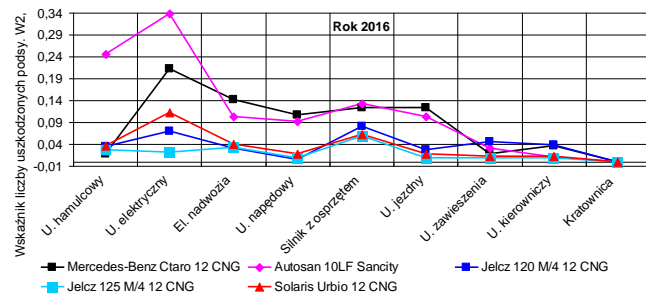
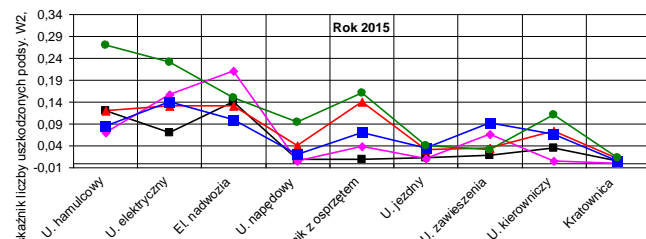
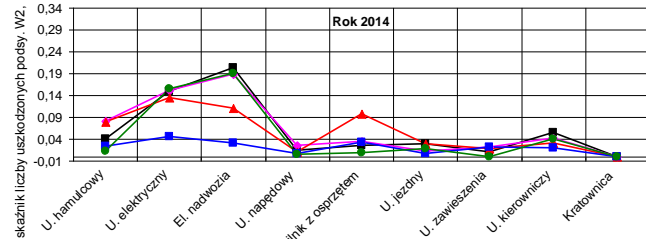
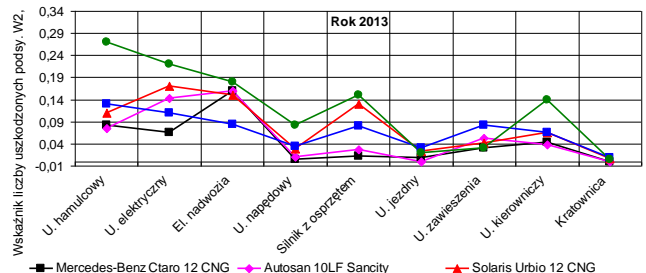
Rys. 12. Wskaźnik liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemów autobusów W_2 na 1000 km floty MPK Rzeszów w latach 2013, 2014, 2015 i 2016 z wyszczególnieniem wyodrębnionych podsystemów



Rys. 13. Wartości wskaźnika liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemów autobusów W_2 na 1000 km w całej flocie z lat 2013, 2014, 2015 i 2016



Rys. 14. Wskaźnik liczby uszkodzeń dziewięciu podsystemu autobusu W_2 na 1000 km dla floty autobusów nowoczesnych (Mercedes-Benz Citaro 12 CNG, Autosan 10LF Sancity) i autobusów konwencjonalnych (Solaris Urbino 12 CNG, Jelcz 120 M/4 12 CNG) w latach 2013-2016



Rys. 15. Wskaźnik liczby uszkodzeń podsystemów autobusów W_2 na 1000 km analizowanych pięciu grup autobusów MPK Rzeszów z lat 2013, 2014, 2015 i 2016 wynikłego z uszkodzeń ich dziewięciu podsystemów konstrukcyjnych

PODSUMOWANIE

Dokonano analizy uszkaźalności autobusów i ich systemów konstrukcyjnych dla transportu publicznego miasta Rzeszowa i gmin: Krasne, Świlcza i Tyczyn, w okresie wdrażania i eksploatacji zrównoważonego transportu publicznego w latach 2013-2016. 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. Liczba uszkodzeń autobusów w tym okresie była zmienna i osiągnęła największą wartość w 2015 roku. Z kolei liczba uszkodzeń autobusów na 100 000 km przebiegu, jest prawie malejąca w tych 4 latach. Stwierdzono dużo uszkodzeń systemów konstrukcyjnych autobusów, na podstawie wartości wskaźnik liczby uszkodzeń dziewięciu

systemów autobusów W_2 na 1 000 km, dla elementów nadwozia, układu elektrycznego oraz hamulców (zwłaszcza w roku 2013 i 2015). Na uszkodzenia autobusów znaczący wpływ wywiera liczba uszkodzeń układu hamulcowego, kierowniczego i jezdnego. Autobusy nowo zakupione mają mniejszą (korzystną) uszkodzalnością silnika i także nieco mniejszą uszkodzalność układu hamulcowego, lecz bardzo zbliżoną jej wartość łączną dla układu hamulcowego, kierowniczego i jezdnego, w porównaniu do autobusów Solaris Urbino 12 CNG i Jelcz 120 M/4 12 CNG. Uszkodzenia układ jezdny ulegały systematycznemu zwiększeniu z czasem użytkowania wszystkich autobusów.

Nowo zakupione autobusy mają więcej uszkodzeń układu elektrycznego, elementów nadwozia oraz zbliżoną dla układu hamulcowego, układu napędowego, układu jezdnego (lecz gorszą) jak i zbliżoną uszkodzalność układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy (korzystniejszą mniejszą). Stwierdzono jedną z największych i bardzo wysoką wartość uszkodzeń dla autobusów zasilanych olejem napędowym, Solaris Urbino 12 ON, w roku 2013 i 2015. Z kolei nowo zakupione autobusy Mercedes-Benz Citaro 12 zasilanych CNG i ON miały bardzo zbliżoną uszkodzalność systemów konstrukcyjnych. Autobusy Jelcz M125 M/4 CNG w porównaniu z autobusami Jelcz 120 M/4 12 CNG charakteryzują się zdecydowanie mniejszą (korzystną) nieuszkodzalnością, co dotyczy zwłaszcza układu elektrycznego, elementów nadwozia, układu napędowego, silnika z osprzętem i układu jezdnego. Zbliżona uszkodzalność analizowanych Jelczy dotyczyła układu hamulcowego, układu zawieszenia, układu kierowniczego i kratownicy. Ich uszkodzalność była mniejsza niż autobusów Mercedes-Benz Citaro 12 zasilanych CNG i ON, mimo że były zdecydowanie starsze i miały znacznie większy przebieg roczny.

BIBLIOGRAFIA

1. Polska Norma, PN-EN 61703:2005 – *Wyrażenia matematyczne dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005.
2. Polska Norma, PN-N-50191:1993 - *Słownik terminologiczny elektryki - Niezawodność, jakość usługi*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1993.
3. Polska Norma, PN-S-47010:1999 - *Pojazdy drogowe, autobusy - wymagania podstawowe*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1999.
4. Oprędkiewicz J., *Niezawodność maszyn*. Skrypty Uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1981.
5. Ważyńska-Fiók K., Jaźwiński J., *Niezawodność systemów technicznych*. PWN, Warszawa 1990.
6. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S., *Zagadnienie oceny niezawodności systemu drogowego transportu pasażerskiego. Studium przypadku*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport z. 102, 141-158, 2014.
7. Bojar P., *Metoda oceny bezpieczeństwa działania systemu transportowego na podstawie analizy uszkodzeń autobusów*. Praca doktorska, promotor Maciej Woropay, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2009.
8. Michalski J., *Wpływ uszkodzeń układów autobusów na zagrożenie działania i bezpieczeństwo systemu transportowego*. „Archiwum Motoryzacji” 2009, 2.
9. Rucińska D., *Promocja zrównoważonego rozwoju transportu - wybrane przykłady dobrych praktyk*. „Logistyka” 2014, 2.
10. *Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. uchwalona przez Zgromadzenie Narodowe w dniu 2 kwietnia 1997 r., przyjęta przez Naród w referendum konstytucyjnym w dniu 25 maja 1997 r., podpisana przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej w dniu 16 lipca 1997 r.* (Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483).
11. Załoga E., *Trendy w transporcie lądowym Unii Europejskiej*. Rozprawy i Studia, t. (947) 873, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2013.
12. Czarski E. (kierownictwo), *Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski*. Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Katowicach, Katowice 2011.
13. Biała Księża - *Plan tworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*. KOM(2011) 144, wersja ostateczna. Bruksela, dnia 28.3.2011.
14. Jacyna-Gołda I., Gołębiowski P., Jachimowski R. Kłodawski M., Lewczuk K., Izdebski M., Szczepański E., *The possibilities of conducting scenario analyses of a sustainable development of the transport system using the EMITRANSYS model*. „Journal of KONES” 2016, 23 (4).
15. Jacyna M., *Model symulacyjny EMITRANSYS jako narzędzie do analizy i planowania rozwoju krajowego systemu transportowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
16. Kiba-Janiak M., Witkowski J. (red. nauk.), *Modelowanie logistyki miejskiej*. PWE, Warszawa 2014.
17. Starowicz W., *Ekspertyza, Koncepcja rozwoju transportu publicznego w miastach*. Praca wykonana na zlecenie Dyrektora Departamentu Polityki Transportowej i Spraw Międzynarodowych w Ministerstwie Infrastruktury z dnia 30 września 2010 roku. Politechnika Krakowska, Kraków, 28 października 2010 roku.
18. Janecki R., Krawiec S., Sierpiński G., *Publiczny transport zbiorowy jako kluczowy element zrównoważonego systemu transportowego Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii Silesia*. [W:] Pyka R. (red.): *Sposób na Metropolię. Idee a społeczne oczekiwania wobec projektu utworzenia śląskozagłębiowskiej metropolii*. UM Katowice, RSS MSNP UŚ, 105-132, Katowice 2010.
19. Chen W., Zou X., Liu Y., *Research on sustainable development evaluation method of city road-network*. “Advances in Intelligent Systems Research” 2012, 23.
20. Clifton G.T., Mulley C., *A historical overview of enhanced bus services in Australian cities: What has been tried, what has worked?*. “Research in Transportation Economics” 2016, 59.
21. Yu Z., Wood J.S., Gayah V.V., *Using survival models to estimate bus travel times and associated uncertainties*. “Transportation Research part C-Emerging Technologies” 2017, 74.
22. Nordfjaern T., Simsekoglu O., Rundmo T., *The role of deliberate planning, car habit and resistance to change in public transportation mode use*. “Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour” 2014, 27.
23. Świątecki P., Wojucka D. (red.), *Bezpieczeństwo w publicznym transporcie zbiorowym*. Kancelaria Senatu 2013. Konferencja Senackiego Zespołu Infrastruktury, 15 października 2012 r. Zeszyt 15, 2013.
24. 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.
25. *Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym* (Dz.U. 2011 nr 5 poz. 13).
26. Krystek R. (red.), *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.1, T.2, T.3*. WKiŁ, Gdańsk 2009, 2010.

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. Alotaibi O., Potoglou D., *Perspectives of travel strategies in light of the new metro and bus networks in Riyadh City, Saudi Arabia*. "Transportation Planning and Technology" 2017, 40 (1).
29. Wan D., Kamga C., Hao W., Sugiura A., Beaton E.B., *Customer satisfaction with bus rapid transit: a study of New York City select bus service applying structural equation modeling*. "Public Transport" 2016, 8 (3).
30. Jovanovic S.S., Knezevic D.M., *Theoretical analysis of the cumulative costs of different diesel bus alternatives for a public transport in the city of Belgrade*. "Thermal Science" 2017, 21 (1B).
31. Ignaciuk P., Gil L., Wójcik A., *Porównanie kosztów eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej zasilanych gazem CNG i olejem napędowym*. „Autobusy” 2016, 11.
32. Łabędź K., *Analiza parametrów ekologicznych pojazdów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG) w rzeczywistych warunkach eksploatacji*. Rozprawa doktorska, Promotor Jacek Pielecha, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2014.
33. www.ngva.eu, *NGVA Europe, European NGV Statistics*. Dostęp: 19.09.2017.
34. Budzik G., *Zasilanie silników autobusów komunikacji miejskiej sprężonym gazem ziemnym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
35. Rossetti A., Macor A., Benato A., *Impact of control strategies on the emissions in a city bus equipped with power-split transmission*. "Transportation research Part D-Transport and environment" 2017, 50.
36. Mangones S.C., Fischbeck P., Jaramillo P., *Safety-related risk and benefit-cost analysis of crash avoidance systems applied to transit buses: Comparing New York City vs. Bogota, Colombia*. "Safety Science" 2017, 91.
37. 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.
38. Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. Wyd. 3 rozszerzone, WKŁ, Warszawa 2012.
39. World Economic Forum, *Repowering transport. Project white paper*. World Economic Forum, Geneva, Switzerland 2011.
40. Li J., Hu Z., Xu L., Ouyang M., Fang C., Hu J., Cheng S., Po H., Zhang W., Jiang H., *Fuel cell system degradation analysis of a Chinese plug-in hybrid fuel cell city bus*. „International Journal of Hydrogen Energy” 2016, 41 (34).
41. Wojewoda P., *Metodyka doboru silnika spalinowego do wybranej konfiguracji napędu hybrydowego autobusu miejskiego*. Rozprawa doktorska, promotor Kazimierz Lejda. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011.
42. Gao Z., Lin Z., La C., Tim J., Liu C., Li J.M., Birky A.K., Ward J., *Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service*. "Energy" 2017, 122.
43. Akopian R., *Budowa pojazdów samochodowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1995.
44. Orzełowski S., *Budowa podwozi i nadwozi samochodowych: podręcznik dla technikum samochodowego*. Wydanie 6. WSiP, Warszawa 1987.
45. Prochowski L., Żuchowski A., *Samochody ciężarowe i autobusy*. WKŁ, Warszawa 2011.
46. Reński A., *Bezpieczeństwo czynne samochodu: Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
47. 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.
48. *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).
49. 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.
50. Alessandrini A., Delle S.P., Gatta V., Stam D., *Investigating users' attitudes towards conventional and automated buses in twelve european cities*. "International Journal of Transport Economics" 2016, 43 (4).
51. Clifton G.T., Mulley C., *A historical overview of enhanced bus services in Australian cities: What has been tried, what has worked?*. "Research in Transportation Economics" 2016, 59.
52. Ferenc T., Potyrański P., *Budowa systemu integrującego transport publiczny miasta Rzeszowa i okolic*. Kongres Transportu Publicznego, Warszawa 2012.
53. *Zintegrowany Plan Rozwoju Transportu Publicznego Rzeszowa na lata 2010-2015, przyjęty Uchwałą Nr LXXXIII/1472/2010 Rady Miasta Rzeszowa z dnia 9 listopada 2010 roku*.

Reliability of public transport buses during the years 2013-2016 of sustainable public transport development in Rzeszów

The article presents the reliability of bus and their construction systems used in public transport. The analysis covers the period 2013-2016 of the implementation and operation of sustainable public transport in Rzeszow. CNG-driven buses (Compressed natural gas) and diesel fuel ON were considered. These were the modern buses Autosan 10LF Sancity and Mercedes-Benz Citaro 12 CNG and conventional buses Jelcz 120 M/4 12 CNG and Solaris Urbino 12 CNG and others. In the studies, limited bus capacity was assessed as the value of the number of damaged buses per 1 000 km in one year W1 and in that period the value of the damage index per 1 000 km of bus systems W2 (construction systems and assemblies).

Autorzy:

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