

Wpływ uszkodzeń układów autobusów na zagrożenie działania i bezpieczeństwo systemu transportowego

JACEK MICHALSKI

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

W pracy przedstawiono wpływ uszkodzeń autobusów i ich układów na zagrożenie działania oraz bezpieczeństwo drogowego systemu transportowego komunikacji międzymiastowej i miejskiej. Wzięto pod uwagę autobusy międzymiastowe Autosan H9-21, H9-41 i A1010, Jelcz T120, Renault FR 1 i Master, Bova FHM oraz autobusy miejskie Ikarus IK 280b, IK 260 i IK 280, Jelcz M181 i M11. W badaniach, ograniczoną zdadność autobusów, oceniano wartością wskaźnika W_1 liczby uszkodzeń autobusów na 1000 km przebiegu i wartością wskaźnika W_2 liczby uszkodzeń wybranych układów autobusów, także na 1000 km. Dokonano oceny stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, O , jakie stwarza uszkodzenie układu autobusu. Wyznaczono wartości wskaźnika W_3 oceny poziomu zagrożenia działania układów autobusów i wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $P(U^*)$ analizowanych układów.

1. Wstęp

Poprzednikami autobusów, w drogowym transporcie pasażerskim, były omnibusy ciągnięte przez konie. W Wielkiej Brytanii i Francji już w XIX wieku rozpowszechniły się także omnibusy o napędzie parowym.

Wynalezienie, pod koniec XIX wieku, silnika spalinowego umożliwiło powstanie nowego rodzaju pojazdu do przewozu osób. Tym pojazdem był autobus wyposażony w silnik spalinowy [1, 2]. Autobus to pojazd samochodowy przeznaczony do przewozu osób posiadający więcej niż dziewięć miejsc siedzących (łącznie z fotelem kierowcy) [3]. Pierwsze konstrukcje autobusów powstały, niezależnie od wielu producentów, poprzez zabudowę kabiny pasażerskiej na podwoziu samochodu ciężarowego. Były one napędzane silnikami o zapłonie iskrowym, a od okresu międzywojennego silnikami o zapłonie samoczynnym. Już w latach dwudziestych XX wieku budowano autobusy z jedną kabiną pasażerską (pierwsze konstrukcje miały osobne stanowisko kierowcy). Powstanie nadwozi samonośnych umożliwiło ich zastosowanie w autobusach, co pierwsza uczyniła firma Chausson w roku 1942. Autobusy te, po II wojnie światowej, jeździły w Warszawie. Potrzeba zwiększenia zdolności przewozowej spowodowała budowę konstrukcji wieloosiowych (w tym przegubowych) i piętrowych,

a także stosowania przyczep autobusowych. Od lat pięćdziesiątych XX wieku, ze względu na intensywny wzrost długości dróg kołowych w państwach rozwiniętych, autobusy zastępowały koleje lokalne.

W tym czasie pojazdy te zaczęły odróżniać się konstrukcyjnie od innych pojazdów drogowych. W miejsce klasycznego układu przeniesienia napędu zaczęto stosować coraz częściej silnik umieszczony z tyłu lub pod podłogą. W autobusach jeżdżących w ruchu lokalnym upowszechniły się drzwi automatycznie otwierane, sterowane przez kierowcę. Ze względów bezpieczeństwa, stopniowo zaniechano również stosowania przyczep, na rzecz rozwoju autobusów przegubowych. W konstrukcji autobusów turystycznych (wysokopodłogowych), w odróżnieniu od autobusów komunikacji publicznej, powszechnie stosowano duże, panoramiczne okna i przeszklone dachy. Po 1970 roku w konstruowaniu autobusów miejskich zarysowała się tendencja do obniżania podłogi. W autobusach dalekobieżnych oraz turystycznych (zwanych autokarami) zaczęto stosować toalety WC z bieżącą wodą, w obiegu zamkniętym, i klimatyzację. Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku, ze względu na ograniczenie emisji spalin, przedsiębiorstwa transportowe coraz częściej kupują autobusy zasilane mniej szkodliwym gazem ziemnym. W rozwiniętych krajach Europy zachodniej coraz wyraźniejszy jest również trend powrotu, w obszarach silnie zurbanizowanych, do bardziej ekologicznych tramwajów.

W Polsce po 1945 roku produkcja autobusów rozwinęła się w Jelczu-Laskowicach i Sanoku a obecnie w Środzie Wielkopolskiej oraz w Bolechowie-Osiedlu [1, 2, 4÷7]. W ofercie polskich producentów nadwozie może być samonośne lub zabudowane na ramie. Szkieletowa konstrukcja nadwozia zapewnia dużą sztywność przy stosunkowo małej masie nadwozia. Elementy szkieletu wykonywane są coraz częściej z nierdzewnych profili, co zapewnia im dużą odporność na korozję. Szkielet nadwozia pokryty jest od wewnątrz i na zewnątrz poszyciem łączonym za pomocą zgrzewania, nitowania lub klejenia. Poszycie jest wykonane z blachy stalowej, często ocynkowanej obustronnie, stopów aluminium lub tworzyw sztucznych i kompozytów.

Zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa autobusów gwarantuje między innymi regulamin EKG ONZ 66 [8, 9]. Począwszy od roku 2001, Unia Europejska oprócz regulaminu ECE – R66, wprowadziła dodatkowo obowiązek przeprowadzania badań niszczących konstrukcji nośnych autobusów. Badania te polegają na wykonaniu obrotu konstrukcji na wysokości 80 cm. Autobus spoczywa na platformie o podnoszonym kątowno jednym boku. Przemieszczenie przestrzeni pasażerskiej, określane w przepisach unijnych, jako „przestrzeń chroniona”, nie powinno być większe niż określono to w normie. Parametry tego przepisu są bardzo szczegółowe. Najogólniej można powiedzieć, że są spełnione, jeżeli po odkształceniu i przemieszczeniu elementów autobusu, odległość pomiędzy dachem a poduszką siedzenia pasażerskiego jest nie mniejsza niż 75 cm.

2. Ocena zagrożeń w systemie komunikacji autobusowej

System transportowy, to ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem osób i ładunków w wyznaczonym zakresie ilościowym i terytorialnym. Transport drogowy, to system socjotechniczny typu UPO, użytkownik ruchu drogowego - człowiek (U) - pojazd (P) - otoczenie (O) [10÷12]. Bezpieczeństwo działania obiektu technicznego obejmuje taki stan obiektu, w którym wartości cech jego elementów mieszczą się w ustalonych granicach, przy pewnych oddziaływaniach czynników wymuszających. Czynniki wymuszające, robocze, zewnętrzne i antropotechniczne, oddziałujące na elementy obiektów technicznych powodują niekorzystne zmiany wartości ich cech, wywołując uszkodzenia. Uszkodzenie układów autobusów, to przekroczenie dopuszczalnych wartości granicznych przez istotne cechy opisujące te układy. Zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego, to stan ograniczonej zdatności systemu na skutek uszkodzeń jego układów (elementów).

Ze względu na ludzi, środki transportu użytkowane w komunikacji autobusowej powinny cechować się wysoką nieuszkodzalnością, ponieważ zmiana ich stanu zdadności w różny sposób wpływa na zmianę stanu bezpieczeństwa systemu. Obniżenie poziomu bezpieczeństwa działania systemu jest wynikiem uszkodzeń elementów krytycznych, ważnych i mało ważnych, które są istotne lub nieistotne dla stanu zdadności. Obniżenie poziomu bezpieczeństwa działania autobusu może mieścić się w dopuszczalnym zakresie (utrudniona realizacja zadania transportowego) lub w zakresie niedopuszczalnym (zagrożenie bezpieczeństwa realizacji zadania). Zmiany poziomu bezpieczeństwa w ocenie zagrożeń określamy jako akceptowany i nieakceptowany poziom zagrożeń [10÷12].

Utrzymujemy stan zdadności poprzez obsługę, a przywracamy utracony stan zdadności poprzez naprawy (obsługi korekcyjne) [13, 14].

Dominujący udział w przyczynach wypadków drogowych ma nieprawidłowe zachowanie się kierowców 68-73% [15]. Literatura z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego podaje zróżnicowany udział pojazdu w przyczynie powstawania wypadków drogowych: 27% [10, 16], 2% braki techniczne pojazdu lub 4,5% czynnik ludzki + pojazd [15].

3. Obiekt i przedmiot badań

Obiektem badań są autobusy eksploatowane w rzeczywistym systemie komunikacji międzymiastowej i miejskiej. Natomiast przedmiotem badań jest wpływ uszkodzeń wybranych układów autobusów na powstawanie zagrożeń w tym systemie.

W publikacji podjęto próbę oceny zagrożeń powstających w procesie użytkowania autobusów, wynikających z nieprawidłowego funkcjonowania wybranych układów autobusów komunikacji międzymiastowej i miejskiej.

4. Metodyka i warunki badań

Badaniem objęto siedem typów autobusów międzymiastowych (tab. 1) i pięć typów autobusów miejskich (tab. 2). Ze 182 autobusów międzymiastowych losowo wybrano po pięć pojazdów każdego typu. Błąd względny wartości średniej i odchylenia standardowego dla ośmiu zamieszczonych właściwości autobusów międzymiastowych, w tabeli 1, nie przekracza 16% odpowiednich wartości całej populacji badanej grupy pojazdów. Z kolei każdy typ autobusów miejskich reprezentowała grupa licząca siedem pojazdów (tab. 2). Wybranymi autobusami międzymiastowymi były: Autosan H9-21, Autosan H9-41, Autosan A1010, Jelcz T120, Renault FR 1, Renault Master i Bova FHM. Z kolei autobusami miejskimi były [16]: Ikarus IK 280b, Ikarus IK 260, Ikarus IK 280, Jelcz M181 i Jelcz M11.

Tabela 1. Zestawienie wartości przebiegów, wieku, liczby kolizji i wypadków oraz liczby uszkodzeń układów analizowanych autobusów międzymiastowych w roku 2008.

Table 1. Specification of mileage, bus age, number of road accidents and number of damages for analyzed intercity buses in 2008.

Nazwa uszkodzonego układu autobusu	Grupy analizowanych autobusów						
	Autosan H9-21	Autosan H9-41	Autosan A1010	Jelcz T120	Renault FR 1	Renault Master	Bova FHM
	Liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu w ciągu 1 roku <i>LU</i> *						
Układ hamulcowy	132	94	56	74	61	66	46
Układ elektryczny	85	73	69	62	73	58	55
Elementy nadwozia	81	68	54	65	67	51	38
Układ przeniesienia napędu	47	36	34	33	28	24	17
Układ zawieszenia	30	26	27	22	20	15	20
Układ kierowniczy	30	24	19	20	15	20	21
Silnik z osprzętem	29	29	13	18	14	11	19
Układ jezdny	19	15	13	16	10	9	7
Liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu 1 roku <i>LU</i>	453	365	285	310	288	254	223
Liczba zdarzeń (kolizji i wypadków) <i>LZ</i>	4	2	1	2	2	1	1
Średnia wieku, lata	18	12	7	10	16	11	12
Sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze w ciągu 1 roku <i>P</i> , km	296184	288942	365261	256843	395645	232546	425961

Dane o uszkodzeniach, zagrożeniach i bezpieczeństwie autobusów międzymiastowych zamieszczono w tabeli 1. Zgromadzone informacje dotyczyły: liczby uszkodzeń i awarii poszczególnych układów autobusów w każdej analizowanej gru-

pie, liczby kolizji i wypadków drogowych badanych pojazdów, sumarycznego przebiegu rocznego każdej analizowanej grupy autobusów. Do określenia liczby uszkodzeń badanych zbiorów autobusów posłużono się danymi zamieszczonymi w książce zleceń napraw autobusu. W tabeli 1 uszeregowano poszczególne układy, od najbardziej narażonych na usterki do mniej podatnych na awarie, występujące w czasie eksploatacji autobusów międzymiastowych. Z kolei analogiczne dane o autobusach miejskich zaczerpnięto z pracy M. Woropay i P. Bojar [16] i zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wartości przebiegów, liczby kolizji i wypadków oraz liczby uszkodzeń układów analizowanych autobusów miejskich w roku 1999 [16].

Table 2. Specification of mileage, number of road accidents and number of damages for analyzed city buses in 1999 [16].

Nazwa uszkodzonego układu autobusu	Grupy analizowanych autobusów					
	Ikarus IK280b	Ikarus IK260	Ikarus IK280	Jelcz JM181	Jelcz M11	SUMA
	Liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu w ciągu 1 roku <i>LU</i> *					
Układ hamulcowy	166	262	183	97	217	925
Układ elektryczny	206	196	120	163	167	852
Elementy nadwozia	167	180	99	125	184	755
Układ przeniesienia napędu	35	213	116	8	134	506
Układ zawieszenia	16	19	19	25	15	94
Układ kierowniczy	1	17	14	16	13	61
Silnik z osprzętem	37	67	33	37	39	213
Układ jezdny	16	24	37	13	31	121
Kratownica	0	1	1	0	0	2
Liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu 1 roku <i>LU</i>	644	979	622	484	800	-
Liczba zdarzeń (kolizji i wypadków) <i>LZ</i>	2	5	6	8	6	27
Średnia wieku, lata	18	12	7	10	16	-
Sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze w ciągu 1 roku <i>P</i> , km	626843	450973	373665	539836	395631	-

W celu informacji na temat zgromadzenia liczby kolizji i wypadków drogowych, spowodowanych przez autobusy w analizowanych grupach, posłużono się danymi zawartymi w zbiorach dokumentów z archiwum przedsiębiorstwa komunikacji samochodowej oraz protokołów Zakładów Ubezpieczeń i sporządzanych wycen zaistniałych szkód. Określono liczbę kolizji i wypadków, których przyczyną powstania był stan ograniczonej zdadności badanych autobusów.

5. Analiza uszkodzeń autobusów, zagrożenia i bezpieczeństwa systemu transportowego

Ocenę liczby uszkodzeń autobusów i ich układów, przypadającej na tysiąc kilometrów, w ciągu jednego roku użytkowania, przeprowadzono za pomocą wskaźników W_1 i W_2 [12], gdzie:

W_1 - wskaźnik liczby uszkodzeń autobusu na 1000 km (rys. 1)

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

gdzie:

LU - liczba uszkodzeń w badanym zbiorze autobusów w ciągu 1 roku,
 P - sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze ciągu 1 roku,

W_2 - wskaźnik liczby uszkodzeń wybranego układu autobusu na 1000 km (rys. 2),

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

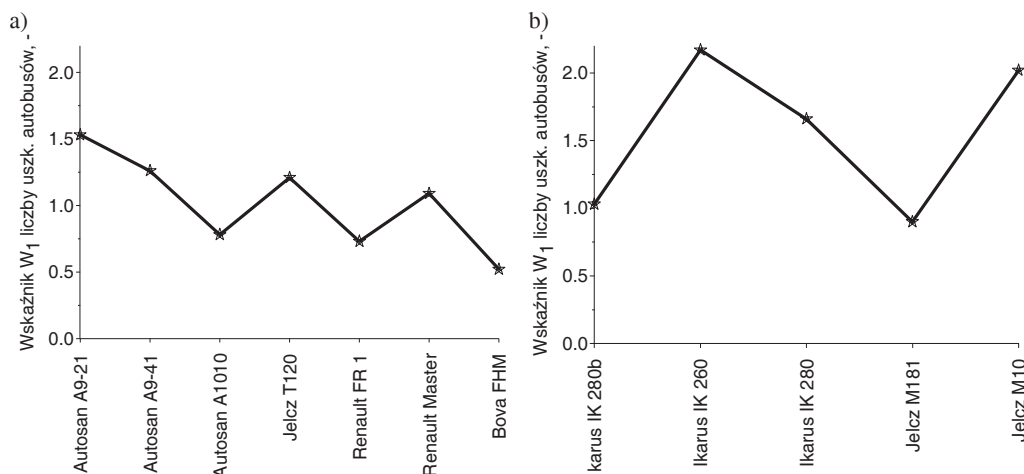
gdzie:

LU^* - liczba uszkodzeń wybranego układu autobusu w ciągu 1 roku.
 P - sumaryczny przebieg autobusów w badanym zbiorze w ciągu 1 roku.

W celu oceny zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego (O), jakie stwarzają uszkodzenia poszczególnych układów autobusów, przeprowadzono badania ankietowe metodą oceny eksperckiej. Badaniu ankietowemu poddano 100 pracowników, wybranych spośród pracowników przedsiębiorstwa (rys. 3a). Ankietą objęto grupy pracowników: mechanicy stacji obsługi, diagności, kierowcy autobusów, dyspozytorki ruchu autobusowego i brygadziści stacji obsługi. Istotność wpływu uszkodzenia zespołów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa oceniano w dziesięciostopniowej skali:

- 1–2 – uszkodzenie zespołu nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,
- 3–5 – uszkodzenie zespołu raczej nie powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,
- 6–8 – uszkodzenie zespołu raczej powoduje zagrożenia bezpieczeństwa,
- 9–10 – uszkodzenie zespołu powoduje zagrożenia bezpieczeństwa.

W pracy [16] oceny wpływu uszkodzeń poszczególnych układów autobusów na zagrożenie bezpieczeństwa systemu transportowego (rys. 3b) dokonali: decydenci sterowania ruchem autobusów, kierowcy autobusów, diagności zakładu komunikacji samochodowej i mechanicy zakładu komunikacji autobusowej.



Rys. 1. Wartości wskaźnika W_j liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km: a) międzymiastowych, b) miejskich.

Fig. 1. Value of W_j index of number of damaged buses per 1000 km a) intercity buses, b) city buses.

Poziom zagrożenia działania autobusu, wynikły z uszkodzenia układu autobusu, wyznaczono za pomocą wskaźnika W_3 (rys. 4).

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

gdzie:

LZ - liczba zdarzeń drogowych (kolizji i wypadków) w analizowanym zbiorze autobusów,

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

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

O - ocena stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, jakie stwarza uszkodzenie analizowanego układu.

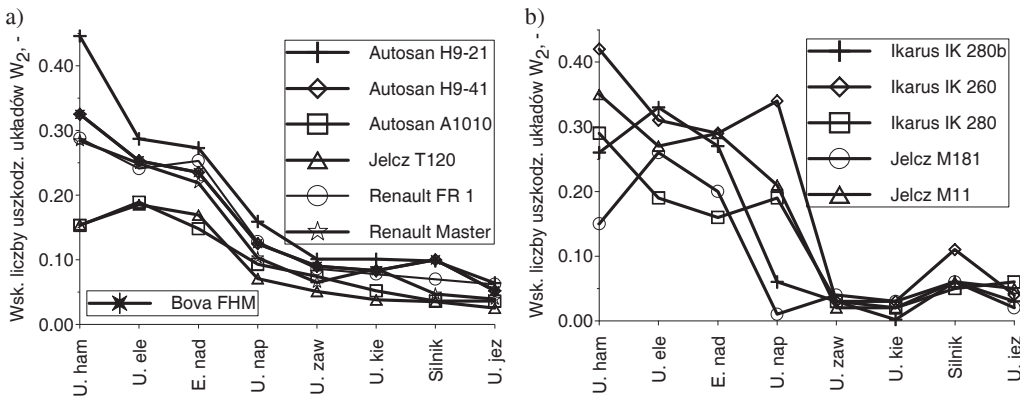
Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia analizowanego układu wyznaczono z zależności:

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

gdzie:

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

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



Rys. 2. Wartości wskaźnika W_2 liczby uszkodzonych układów autobusów: a) międzymiastowych, b) miejskich.

Fig. 2. Value of W_2 index of number of damaged units per 1000 km a) intercity buses, b) city buses.

Analizowano uszkodzenia układów autobusów: układ hamulcowy, układ elektryczny, elementy nadwozia, układ przeniesienia napędu, układ zawieszenia, układ kierowniczy, silnik z osprzętem i układ jezdny. Uszeregowanie wynika z malejącej częstości występowania uszkodzeń w autobusach międzymiastowych (rys. 5a).

Stosowano przedstawioną metodykę, gdyż jest ona zbliżona do procedury analizy rodzajów i skutków uszkodzeń FMEA (ang. Failure Mode and Effects Analysis [17, 18]), nazywaną metodą analizy przyczyn i skutków wad lub analizą przyczyn, skutków i krytyczności. FMEA ma na celu zapobieganie skutkom wad, które mogą wystąpić w fazie projektowania oraz w fazie wytwarzania. Jest to metoda postępowania QS-9000 i ISO/TS 16949. Metoda ta opisana jest także w normie PN-IEC 812: 1994 - Techniki analizy nieuszkodzalności systemów [17]. Stosowanie metody FMEA nie jest wymagane w normie ISO 9001:2008. Jest z kolei wymagane w systemach zarządzania jakością przedsiębiorstw z branży motoryzacyjnej. Wynika to ze specyfikacji technicznej ISO/TS 16949:2002.

Po ustaleniu wad określa się ich skutki, a następnie przyczyny powstania. Wszystkie możliwe wady ocenia się w skali od 1 do 10 za pomocą trzech tzw. liczb priorytetowych: Z , C i W . Po działaniach korygujących wskaźnik oceny WPR powinien spaść. Dopuszczalne wartości wskaźnika poziomu ryzyka WPR wymagane przez producentów samochodów to najczęściej $WPR=80$, 60 lub 50.

$$WPR = Z \cdot C \cdot W \quad (5)$$

gdzie:

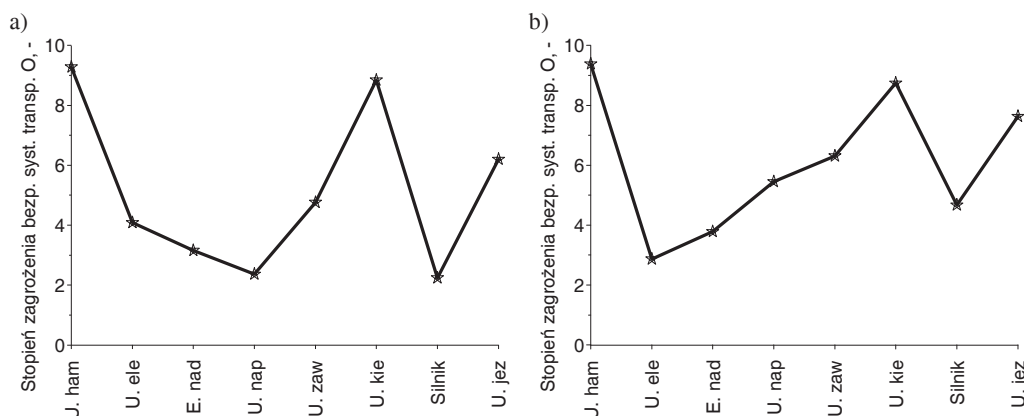
Z - znaczenie skutku, 1 oznacza bardzo niewielkie ograniczenie sprawności, usunięcie usterek podczas kolejnego przeglądu, a 10 naruszenie przepisów prawnych i wręcz zagrożenie bezpieczeństwa,

C - częstość wystąpienia wady, gdzie 1 oznacza, że wada jest prawie wykluczona, wystąpienie jej jest nieprawdopodobne. Natomiast 10 oznacza, że wady prawie nie da się uniknąć, bardzo często występuje,

W - wykrywalność odzwierciedlająca trudność wykrycia wady przed opuszczeniem fabryki. Jeden oznacza wykrycie wady w prosty sposób, jeżeli wadę trudno wykryć to $W=10$.

6. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki obliczeń wartości wskaźnika liczby uszkodzonych autobusów międzymiastowych i miejskich W_1 przedstawiono na rysunku 1. Liczba uszkodzonych autobusów (tab. 1 i 2), jak i wskaźnik W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km przebiegu są zdecydowanie większe dla autobusów miejskich ($W_1=0,90-2,17$) niż międzymiastowych ($W_1=0,52-1,53$). Duże wartości wskaźnika liczby uszkodzeń na 1000 km ma autobus miejski Ikarus IK 260 i zbudowany na jego licencji autobus Jelcz M10 ($W_1=2,17$, $W_1=2,02$). Zdecydowanie mniejsze jego wartości mają autobusy Jelcz M181 i Ikarus IK 280b ($W_1=0,90-1,03$). Jednak są one znacznie większe niż dla autobusów międzymiastowych Bova FHM, Renault FR 1 i Autosan A1010 ($W_1=0,52$, $W_1=0,73$ i $W_1=0,78$ odpowiednio).

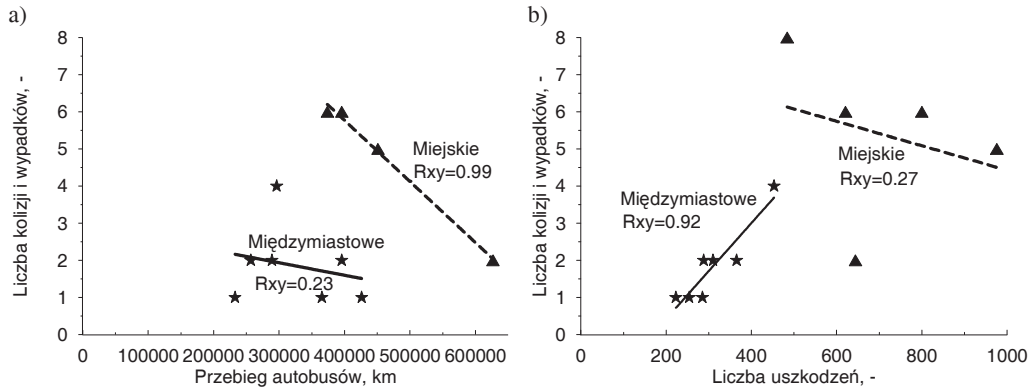


Rys. 3. Średnie wartości ocen zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego, O , jakie stwarza uszkodzenie układów autobusów: a) międzymiastowych, b) miejskich.

Fig. 3. Mean value of threats ratio in transportation system safety O caused by bus units damages a) intercity buses, b) city buses.

Z kolei rysunek 2 przedstawia wartości wskaźnika W_2 liczby uszkodzonych układów autobusów międzymiastowych i miejskich. Największa liczba uszkodzeń dotyczy układu hamulcowego. Dotyczy to zarówno autobusów międzymiastowych, jak i miejskich. Pozostałe układy o stosunkowo mniejszej liczbie uszkodzeń W_2 to: układ elektryczny, elementy nadwozia, układ przeniesienia napędu, układ zawieszenia, układ kierowniczy, silnik z osprzętem i układ jezdny. Wartości wskaźników liczby

uszkodzeń układów autobusów międzymiastowych i miejskich na 1000 km przebiegu W_2 są zbliżone. Pewne różnice dotyczą jedynie układu przeniesienia napędu autobusu miejskiego Ikarus IK 260 (ten autobus ma największą uszkodzalność). W grupie autobusów międzymiastowych największą uszkodzalnością charakteryzuje się autobus Autosan H9-21.



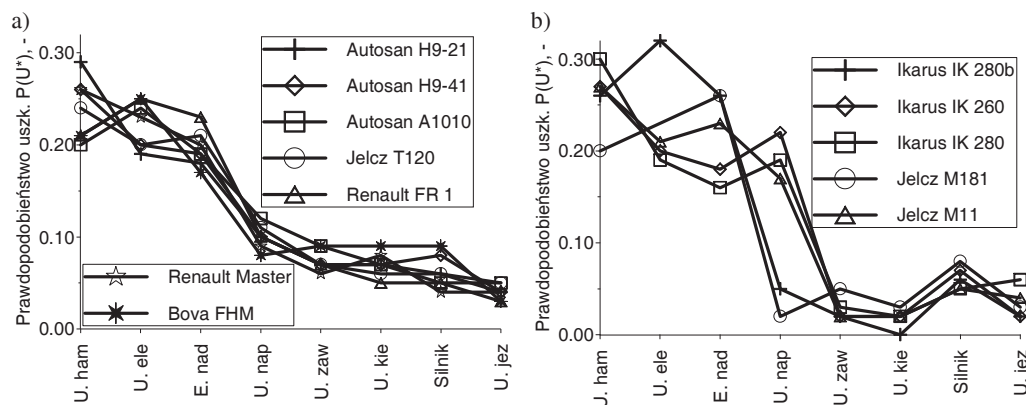
Rys. 4. Zależności liczby kolizji i wypadków autobusów międzymiastowych i miejskich od:
a) przebiegu (nie uwzględniono autobusów Jelcz M181), b) liczby uszkodzeń.

Fig. 4. Number of road accidents with intercity and city buses versus a) mileage (without Jelcz M181 buses), b) number of damages.

Wyniki ocen ankietowych stopnia zagrożenia, O , jakie stwarza uszkodzenie układu autobusu były nieco odmienne dla autobusów międzymiastowych i miejskich, co do wpływu silnika z osprzętem, układu zawieszenia, układu przeniesienia napędu, układu elektrycznego i elementów nadwozia (rys. 3). Są one z kolei zgodne, że największy stopień zagrożenia systemu transportowego wynika z uszkodzenia w autobusach międzymiastowych i miejskich układu hamulcowego, układu kierowniczego i układu jezdnego.

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 i pracy [16] wynika, że dużo zdarzeń drogowych było spowodowane przez autobusy miejskie Jelcz M181, Jelcz M11, Ikarus IK 280, Ikarus IK 260 [16] i autobusy międzymiastowe Autosan H9-21 (tab. 1). Autobusy Autosan H9-21 charakteryzowały się też największą awaryjnością (453 awarii w roku) spośród autobusów międzymiastowych. Jednocześnie grupa autobusów Autosan H9-21 miała mały przebieg (czwarty, co do wartości przebiegu z autobusów międzymiastowych). Przebiegi autobusów międzymiastowych wynosiły $232546 \div 425961$ km i były mniejsze od przebiegów autobusów miejskich wynoszących $373665 \div 539836$ km (istnieje odmienna liczba autobusów tych grup). Wszystkie autobusy miejskie miały znacznie więcej awarii (od 484 do 800 w ciągu roku). Wynik ten może być podyktowany tym, iż autobusy grupy Autosan H9-21 mają największy średni okres eksploatacji. Natomiast liczba zdarzeń drogowych, nie jest uzależniona (niska korelacja $R_{xy}=0,23$) od przebiegu grupy autobusów międzymiastowych (rys. 4a). Ma ona

z kolei bardzo wysoką korelację ($R_{xy}=0,92$, zależność pewna) z liczbą uszkodzeń układów autobusów międzymiastowych (rys. 4b).



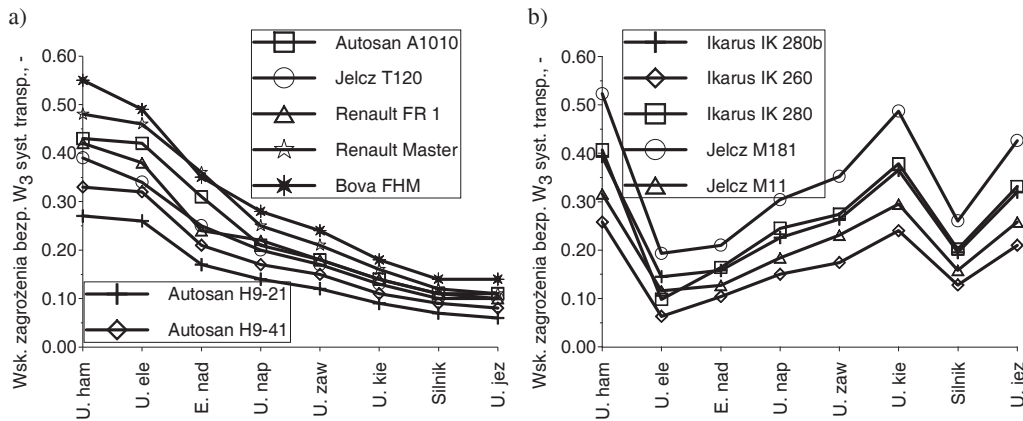
Rys. 5. Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia układów autobusów $P(U^*)$: a) międzymiastowych, b) miejskich.

Fig. 5. Values of damage events probability in bus units $P(U^*)$: a) intercity buses, b) city buses.

Diametralnie odmienna sytuacja występuje w grupie autobusów miejskich. Tutaj liczba kolizji i wypadków ma bardzo ścisłą zależność z przebiegiem, ($R_{xy}=0,99$, rys. 4a) z kolei nie jest statystycznie związana z liczbą uszkodzeń układów autobusów (rys. 4b). W obliczeniach korelacji nie wzięto pod uwagę autobusów Jelcz M181. Są to nowoczesne autobusy, o długości 18 metrów, przegubowe, niskowejściowe, przewożące najwięcej, bo 180 pasażerów. Charakteryzują się bardzo małą liczbą uszkodzeń układów i bardzo intensywnym użytkowaniem. Mają zarazem dużą liczbę kolizji i wypadków. Ich charakterystyka jest znacznie odmienna od pozostałych autobusów miejskich, które są konstrukcjami przestarzałymi.

Prawdopodobieństwo uszkodzeń układów autobusów $P(U^*)$ międzymiastowych i miejskich (rys. 5) jest jakościowo zbliżone do wskaźnika liczby uszkodzeń układów autobusów W_2 (rys. 2). Wyjątkiem jest autobus miejski Ikarus IK 280b, w którym prawdopodobieństwo uszkodzenia układu elektrycznego jest większe niż układu hamulcowego autobusu Ikarus IK 280 (0,32 i 0,30 odpowiednio). Należy stwierdzić, że prawdopodobieństwo uszkodzenia układu hamulcowego, układu elektrycznego, elementów nadwozia i układu przeniesienia napędu autobusów międzymiastowych jest większe i bardziej zróżnicowane niż autobusów miejskich. Ma ono zakres wartości od 0,32 do 0,02.

Szczególnie duże różnice oceny, za pomocą wskaźnika poziomu zagrożenia działania W_3 (rys. 6), dotyczą autobusów międzymiastowych i miejskich. We wszystkich autobusach największe zagrożenie działania stwarza układ hamulcowy (autobusy międzymiastowe $W_3=0,55-0,27$ i autobusy miejskie $W_3=0,52-0,26$).



Rys. 6. Wartości wskaźnika W_3 oceny poziomu zagrożenia działania wynikające z uszkodzenia układu autobusów: a) międzymiastowych, b) miejskich.

Fig. 6. Values of index W_3 of buses operation threats ratio caused by bus unit damages a) for intercity buses, b) for city buses.

Jest bardzo niepokojące, że autobusy nowoczesne stwarzają największe zagrożenie działania. W grupie autobusów międzymiastowych duże wartości wskaźnika oceny poziomu zagrożenia W_3 mają autobusy: Bova FHM, Renault Master, Autosan A1010, Renault FR 1 i Jelcz T120. Z kolei najmniejszą wartość tego wskaźnika ma autobus, skonstruowany w 1980 roku, Autosan H9-21. W grupie autobusów miejskich także nowoczesne konstrukcje stwarzają największe zagrożenie działania. Duże wartości wskaźnika poziomu zagrożenia działania mają autobusy: Jelcz M181, Ikarus IK 280 i zbliżoną Ikarus IK 280b. Najmniejsze zaś wartości ma wskaźnik W_3 dla autobusów: Ikarus IK 260.

Jak wspomniano, największe zagrożenie działania, charakteryzowane za pomocą wartości wskaźnika poziomu zagrożenia W_3 , stwarza układ hamulcowy. Pozostałe układy autobusu mają mniejsze, chociaż nie do zaakceptowania duże wartości. Uszeregowanie wartości wskaźnika poziomu zagrożenia działania jest odmienne dla autobusów międzymiastowych i miejskich. Dla autobusów międzymiastowych malejące wartości wskaźnika działania W_3 dotyczą układów: hamulcowego, elektrycznego, nadwozia, przeniesienia napędu, zawieszenia, kierowniczego oraz silnika z osprzętem i układu jezdny. Z kolei dla autobusów miejskich takie uszeregowanie wartości wskaźnika działania W_3 obejmuje układy: hamulcowy, kierowniczy, jezdny, zawieszenie, przeniesienie napędu oraz silnik z osprzętem, elementy nadwozia i układ elektryczny.

Tabela 3. Zestawienie wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia układów $P(U^*)$: hamulcowego, kierowniczego i jezdnego autobusów i wartości wskaźnika ich liczby uszkodzeń W_2 oraz wartości stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego O i wartości wskaźnika poziomu działania W_3 .
 Table 3. Specification of damage events probability $P(U^*)$ in: brake, direction control and drive systems, number of damages index W_2 , threats ratio in transportation system safety O , and values of operation ability ration index W_3 .

Lp.	Nazwa	Transport	Układ hamulcowy		Układ kierowniczy		Układ jezdny	
			Zakres	Średnia	Zakres	Średnia	Zakres	Średnia
1	Wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia układów autobusów $P(U^*)$	Między-miastowy	0,29-0,20	0,24	0,09-0,06	0,07	0,05-0,03	0,04
		Miejski	0,30-0,20	0,26	0,03-0,0002	0,01	0,06-0,02	0,03
2	Wartości wskaźnika liczby uszkodzonych układów autobusów W_2	Między-miastowy	0,45-0,11	0,25	0,10-0,04	0,07	0,05-0,02	0,04
		Miejski	0,42-0,15	0,29	0,03-0,002	0,02	0,06-0,02	0,04
3	Wartości stopnia zagrożenia bezpieczeństwa systemu transportowego O	Między-miastowy	9,38		8,74		7,63	
		Miejski	9,28		8,84		6,20	
4	Wartości wskaźnika poziomu zagrożenia działania autobusów W_3	Między-miastowy	0,55-0,27	0,41	0,18-0,09	0,14	0,14-0,06	0,10
		Miejski	0,52-0,26	0,38	0,49-0,24	0,35	0,43-0,21	0,31

Na podstawie wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia $P(U^*)$ układów hamulcowego, kierowniczego i jezdnego, jak i wskaźnika liczby ich uszkodzeń W_2 , dla autobusów międzymiastowych i miejskich (tab. 3) oraz na podstawie procedury analizy rodzajów i skutków uszkodzeń FMEA wynika, że układ hamulcowy autobusów międzymiastowych i miejskich wymaga działań korygujących konstrukcyjnych i produkcyjnych. Poziome wartości wskaźników; W_1 , W_2 , O , W_3 i WPR są trudne do zaakceptowania. Z kolei autobusy miejskie wymagają także dodatkowo działań korygujących w zakresie układu kierowniczego i układu jezdnego.

7. Wnioski

Liczba uszkodzonych autobusów, jak i wartości wskaźnika W_1 liczby uszkodzonych autobusów na 1000 km przebiegu, są zdecydowanie większe dla autobusów miejskich ($W_1=0,90-2,17$) niż międzymiastowych ($W_1=0,52-1,53$). Z kolei oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia układów autobusów $P(U^*)$ i uszkodzeń za pomocą wartości wskaźnika liczby uszkodzonych układów W_2 , dają zbliżoną informację dla tych grup autobusów. Jest to uzasadnione zarówno odmiennymi warunkami użytkowania jak i zbliżonymi cechami konstrukcyjnymi i technologicznymi autobusów miejskich oraz międzymiastowych.

Duże wartości wskaźnika liczby uszkodzeń autobusu, tym samym dużą pracochłonność i koszt obsługi korekcyjnych na 1000 km, charakteryzuje autobus miejski

Ikarus IK 260 ($W_1=2,17$) i zbudowany na jego licencji Jelcz M10 ($W_1=2,02$), małe z kolei wartości Jelcz M181 ($W_1=0,90$) i Ikarus IK 280b ($W_1=1,03$). Spośród autobusów międzymiastowych najmniejszy wskaźnik liczby uszkodzeń ma autobus Bova FHM ($W_1=0,52$) a największy Autosan A9-21 ($W_1=1,53$).

Wyniki ocen ankietowych stopnia zagrożenia, O , jakie stwarza uszkodzenie układów autobusów wskazały, że największy stopień zagrożenia systemu transportowego wynika z uszkodzenia układu hamulcowego, układu kierowniczego i układu jezdnego.

Liczba zdarzeń drogowych autobusów międzymiastowych ma bardzo wysoką korelację z liczbą uszkodzeń ich układów a małą zależność z przebiegiem.

Diametralnie odmienna sytuacja występuje w przypadku autobusów miejskich, których liczba kolizji i wypadków ma bardzo ścisłą zależność z przebiegiem, z kolei nie jest statystycznie związana z liczbą uszkodzeń układów autobusów. W obliczeniach nie wzięto pod uwagę nowoczesnych autobusów Jelcz M181, charakteryzujących się bardzo małą liczbą uszkodzeń układów i bardzo intensywnym użytkowaniem.

Jest bardzo niepokojące, że nowoczesne międzymiastowe autobusy mają duże zagrożenie działania. Są to autobusy Bova FHM, Renault Master, Autosan A1010, Renault FR 1 i Jelcz T120. Z kolei najkorzystniejsze wartości wskaźnika poziomu zagrożenia działania W_3 mają autobusy Autosan H9-21, pomimo licznych uszkodzeń.

W grupie autobusów miejskich także nowoczesne konstrukcje mają największe zagrożenie ich działania. Duże wartości wskaźnika poziomu zagrożenia działania dotyczą autobusów: Jelcz M181, Ikarus IK 280 i zbliżoną Ikarus IK 280b. Najmniejszą wartość wskaźnika W_3 wykazują z kolei autobusy Ikarus IK 260.

Działania korygujących konstrukcyjnych i produkcyjnych bezwzględnie wymaga układ hamulcowy autobusów międzymiastowych i miejskich. Wynika to z bardzo wysokiego stopnia zagrożenia, jaki stwarza ten układ dla bezpieczeństwa transportu ($O=9,28-9,38$), wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia ($P(U^*)=0,24-0,26$), bardzo dużych wartości wskaźnika liczby jego uszkodzeń ($W_2=0,25-0,29$) i niekorzystnie wysokich wartości wskaźnika oceny poziomu działania tego układu ($W_3=0,38-0,41$). Z kolei autobusy miejskie wymagają działań korygujących dla układu hamulcowego ($W_3=0,38$), układu kierowniczego ($W_3=0,35$) i układu jezdnego ($W_3=0,31$).

Literatura

- [1] PODBIELSKI Z.: Samochody ciężarowe, specjalne i autobusy. Instytut Wydawniczy "Nasza Księgarnia". Warszawa 1988.
- [2] PODBIELSKI Z.: Wielka encyklopedia wytwórni samochodów. A-D. Wydawnictwo Adi Car. Łódź 1992.
- [3] PROCHOWSKI L., ŻUCHOWSKI A.: Samochody ciężarowe i autobusy. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2006.
- [4] Aktualności Solaris, Miesięcznik, Solaris Bus & Coach S.A., 10 (2006) 15.
- [5] ORŁOWSKI A. (Red.): Autosan. Wydawnictwo LSW. Warszawa 1982.
- [6] Wikipedia. Wolna encyklopedia. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Autosan>.
- [7] Wikipedia. Wolna encyklopedia. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Jelcz>.
- [8] Addendum 65: Regulation No. 66: Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with regard to the Strength of their Superstructure, September 28, 1988, 32 pages.

- [9] Review and Revision of UN-ECE Regulation 66. Informal Document No. 7, 2003, 44 pages.
- [10] OZIEMSKI S.: Człowiek w maszynie. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2004.
- [11] WICHER J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002.
- [12] WOROPAY M., KNOPIK L., LANDOWSKI B.: Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym. Instytut Technologii Eksploatacji. Radom 2001.
- [13] ORZEŁOWSKI S.: Naprawa i obsługa pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa 2006.
- [14] UZDOWSKI M., ABRAMEK K. F., GARCZYŃSKI K.: Eksploatacja techniczna i naprawa. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2003.
- [15] PROCHOWSKI L., UNARSKI J., WACH W., WICHER J.: Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2008.
- [16] WOROPAY M., BOJAR P.: Analiza i ocena uszkodzeń wybranych podzespołów autobusów oraz ich wpływ na zagrożenia w miejskim systemie transportowym, *Archiwum Motoryzacji*, 2 (2007) 159-168.
- [17] Techniki analizy nieuszkodzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń. PN-IEC 812:1994.
- [18] URBANIAK M.: Zarządzanie jakością. Wydawnictwo Difin. Warszawa 2004.

The effect of damages in bus units on operation threats and safety of transportation system

S u m m a r y

In the paper the effect of damages in bus units on operation threats and safety of road transportation system in intercity and urban communication range is presented. Some interurban buses such as Autosan H9-21, H9-41 and A1010, Jelcz T120, Renault FR 1 and Master, Bova FHM and urban buses Ikarus IK 280b, IK 260 and IK 280, Jelcz M181 and M11 were considered. The research of buses technical conditions uses W_1 index of number of damaged buses per 1000 km and W_2 index of number of damaged units per 1000 km. The threats in transportation system safety, O , caused by these damages was assessed. The values of threats ratio index W_3 and probability of damage events in analyzed units $P(U^*)$ were estimated too.