

BADANIA PORÓWNAWCZE NIEZAWODNOŚCI AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

COMPARATIVE RELIABILITY TESTS OF CITY TRANSPORT BUSES

W niniejszej pracy przedstawiono porównanie niezawodności autobusów komunikacji miejskiej Jelcz M081MB na podwoziu Mercedes-Benz 0814D oraz Volkswagen LT-46. Zamieszczone w pracy wyniki pochodzą z danych uzyskanych w trakcie eksploatacji tych pojazdów w okresie jednego roku. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono podstawowe wskaźniki niezawodności badanych pojazdów. Uzyskane wyniki pozwalają na porównanie właściwości eksploatacyjnych analizowanych typów pojazdów.

Słowa kluczowe: autobus miejski, rodzaje uszkodzeń, wskaźniki niezawodności

This paper presents the reliability comparison of city transport buses - Jelcz M081MB on Mercedes-Benz 0814D chassis and Volkswagen LT-46. The results presented are based on the data obtained during operation of the vehicles during a period of one year. Based on the results obtained the basic vehicles' reliability indicators were identified. The results obtained allow comparison of operational characteristics of the analyzed types of buses.

Keywords: city bus, types of damages, reliability indicators

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach w Polsce znacznie wzrosła rola transportu samochodowego zarówno jeśli chodzi o przewóz towarów jaki i ludzi. Spowodowało to wprowadzenie do eksploatacji znacznej ilości nowych pojazdów w tym nowych typów dotąd nieeksploatowanych w kraju. Mimo wszelkich starań producentów pojazdy samochodowe podobnie jak i każde urządzenie mechaniczne ulega w okresie swego „życia” procesowi starzenia. Procesy starzenia fizycznego poszczególnych części pojazdu, chwilowe przeciążenia tych elementów oraz zdarzenia losowe (np. kolizje i wypadki drogowe) wpływają zarówno na obniżenie trwałości jak i niezawodności całego pojazdu [1, 2].

Wprowadzenie nowych typów pojazdów do eksploatacji pociąga za sobą konieczność poznania właściwości eksploatacyjnych tych pojazdów. Jest to konieczne nie tylko do oceny przydatności poszczególnych typów pojazdów czy określenia ich kosztów eksploatacji ale również do określenia rodzaju i ilości części zapasowych czy też obsady personelu obsługi technicznej [3].

2. Przebieg badań eksploatacyjnych

Do oceny niezawodności wybrano dwa rodzaje autobusów: Jelcz M081MB na podwoziu Mercedes-Benz 0814D oraz Volkswagen LT-46 (rys.1), eksploatowane w podobnych warunkach. Podstawowe wskaźniki techniczno-eksploatacyjne tych pojazdów zestawiono w tab. 1.

Do badań porównawczych wybrano 10 autobusów typu Volkswagen LT-46 oraz 9 typu Jelcz M081MB. Wszystkie autobusy były w trzecim roku eksploatacji i miały podobny przebieg. Badania tych pojazdów prowadzone były w naturalnych warunkach ich eksploatacji w okresie jednego roku kalendarzowego w MPK w Olsztynie. W trakcie badań wszystkie informacje o przebiegu ich eksploatacji były rejestrowane w kartach użytkownika pojazdów oraz kartach uszkodzeń i napraw pojazdów. Dane te po zakończeniu badań posłużyły

1. Introduction

During the recent years the importance of road transport in Poland increased significantly in transport of both goods and people. That resulted in introduction of significant numbers of new vehicles, including new types that had never been operated before, for operation in the country. Despite all efforts of the manufacturers, vehicles, similar to other mechanical devices, are subject to aging process during their lifespan. The physical aging processes of individual vehicle parts, temporary overload of those parts and random events (e.g. collisions and road accidents) influence decreasing both the lifespan and reliability of the entire vehicle.

Introduction of new vehicle types for operation results in the necessity to gain knowledge on operational characteristics of those vehicles. It is necessary not only for assessment of suitability of different vehicle types or determining their operational costs but also to determine the types and numbers of spare parts or number of technical maintenance personnel.

2. Operational studies process

Two types of buses were chosen for reliability assessment: Jelcz M081MB on Mercedes-Benz 0814D chassis and Volkswagen LT-46 (fig. 1), operated under similar conditions. The basic technical-operational parameters for those vehicles are presented in tab. 1.

For the comparative studies 10 Volkswagen LT-46 buses and 9 Jelcz M081MB buses were chosen. All the buses were in their third year of operation and had similar mileage. The tests of those buses were conducted under natural operational conditions during the period of the entire calendar year at MPK [Municipal Transport Company] in Olsztyn. During the study, all the information concerning their operation was recorded on vehicle operation cards and cards of defects and repairs of vehicles. At the end of the study the data was used to determine the basic reliability characteristics of the test vehicles [1], i.e.:

Tab. 1. Wskaźniki techniczno-eksploatacyjnych badanych autobusów
 Tab. 1. Technical – operational parameters of the tested busses

Nazwa parametru / Parameter	Volkswagen LT-46	Jelcz M081MB
Moc silnika [kW] / Engine power [kW]	92	100
Max. moment obrotowy [Nm] / Max. torque [Nm]	280	520
Wymiary / Dimensions:		
- długość / length [mm]	5585	7675
- szerokość / width [mm]	1994	2420
- wysokość / height [mm]	2610	2970
- rozstaw osi / distance between axis [mm]	3550	4250
- rozstaw kół przednich / track front [mm]	1640	1872
- rozstaw kół tylnych / track rear [mm]	1552	1640
Masa własna / Own mass [kg]	2202	5400
Masa całkowita max. / Total mass max. [kg]	4600	8200
Ilość miejsc / Places:		
- siedzące / sitting	12	18
- stojące / standing	16	22
Prędkość maksymalna / Maximum speed [km/h]	135	90



Rys. 1. Widok autobusów analizowanych w pracy: a) Volkswagen LT-46, b) Jelcz M081MB
 Fig. 1. View of analyzed busses: a) Volkswagen LT-46, b) Jelcz M081MB

do wyznaczenia podstawowych charakterystyk niezawodności badanych pojazdów [3], tj.:

- wskaźnik efektywnego wykorzystania pojazdu;
- średni przebieg między naprawami;
- parametr skumulowanego strumienia uszkodzeń;
- średnia pracochłonność napraw;
- wskaźnik gotowości technicznej.

Zaistniałe podczas eksploatacji autobusów uszkodzenia podzielono w zależności od rodzaju lub postaci na następujące grupy [4]:

- złamanie (przełom) lub pęknięcie części;
- zniszczenie połączenia stałego (np. spawanego, nitowanego, zgrzewanego itp.);
- zniekształcenie przestrzenne części (zmiana kształtu), miejscowe wgłębienie lub wgniecenie;
- zerwanie części (np. pasa klinowego, linki itp.);
- poluzowanie połączeń (np. gwintowych, klinowych, nitowych, wciskowych itp.);
- nadmierne zużycie części (np. na skutek tarcia, korozji itp.);
- przecieki (np. oleju z układu hydraulicznego, paliwa z układu zasilania paliwem, cieczy chłodzącej itp.);

- effective vehicle use index;
- average mileage between repairs;
- parameter of the cumulated stream of defects;
- average work intensity of repairs;
- technical availability index.

The defects occurring during operation of busses were divided according to type and form into the following groups [4]:

- break or fracture of a part;
- destruction of a fixed connection (e.g. welded, riveting, bonded, etc.);
- spatial deformation of a part (shape change), place of bend or indentation;
- part rupture (e.g. v-belt, cable, etc.);
- loosening of connection (e.g. threaded, wedged, riveted, pushed in, etc.);
- excessive wear of parts (e.g. as a consequence of traction, corrosion, etc.);
- leakages (e.g. of oil from the hydraulic system, fuel from fuel feeding system, coolant, etc.);
- seizure of parts (e.g. slide bearings or parts performing to-and fro motions);
- short circuit or break in an electric circuit;

- zatarcie części (np. łożysk ślizgowych lub części pozostających ruchu posuwisto-zwrotnym);
- zwarcie lub przerwa w obwodzie elektrycznym;
- spalanie lub stopienie części;
- niewłaściwa współpraca części (nadmierne wyginanie się części, niewspółosiowość);
- nadmierne luzy lub zniszczenie połączenia ruchowego (obrotowego, obrotowo-zwrotnego, posuwisto-zwrotnego);
- inne, niewymienione (np. przebicie opony, zapowietrzenie układu paliwowego itp.).

Dla wymienionych uszkodzeń stworzono zbiór rodzajów uszkodzeń U :

$$U = \{ u_1, u_2, \dots, u_{13} \} \quad (1)$$

Dla każdego zaistniałego rodzaju uszkodzenia przeprowadzona była identyfikacja i opis możliwych przyczyn. Przyczyny te są identyfikowane w celu oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia, ujawnienia efektów wtórnych i podania zaleceń do działań korekcyjnych.

Do przeprowadzenia analizy rodzajów i skutków uszkodzeń przyjęto następujący podział rodzaju przyczyn powstawania uszkodzeń:

- niewłaściwe warunki eksploatacji;
- niewłaściwa obsługa, błąd kierowcy (np. zderzenie z innym pojazdem lub inną przeszkodą);
- wady konstrukcyjne;
- wady produkcyjne (materiałowe, technologiczne, montażowe itp.);
- zużycie na skutek tarcia, korozji, starzenia itp. procesów;
- uszkodzenie podczas naprawy innej części (podczas demontażu);
- zła konserwacja pojazdu;
- inne, nieustalone.

Przyjęty podział uszkodzeń oraz ich przyczyn umożliwił makroskopową ocenę postaci uszkodzenia oraz domniemanej przyczyny jej powstawania na tle sytuacji eksploatacyjnej i warunków pracy, w których wystąpiło jej uszkodzenie danego elementu.

W procesie eksploatacji uszkodzenie tego samego elementu pojazdu może mieć różną postać i nastąpić z różnych przyczyn [2]. W praktyce można również zaobserwować kilka różnych postaci uszkodzeń, pojawiających się w jednej części pojazdu.

3. Wyniki badań niezawodności

W tab. 2 zestawiono zaistniałe rodzaje uszkodzeń oraz krotności ich występowania dla autobusów typu Volkswagen LT-46, w tabeli tej podano również średnią wartość wytepienia danego rodzaju uszkodzenia. Analogiczne dane dla autobusów typu Jelcz M081MB zestawiono w tab. 3.

Analizując przedstawione w tab. 2 i 3 krotności występowania poszczególnych postaci uszkodzeń należy stwierdzić, iż autobusy typu Volkswagen LT -46 w analizowanym okresie charakteryzują się mniejszą uszkadzalnością niż autobusy typu Jelcz M081MB w każdej grupie uszkodzeń. Niektóre rodzaje uszkodzeń w autobusach Volkswagen występują nawet trzykrotnie rzadziej w porównaniu z badanym Jelczem.

Uzyskane podczas badań eksploatacyjnych dane wykorzystano do wyznaczenia podstawowych wskaźników niezawodności analizowanych autobusów [4, 5]. Wybrane wskaźniki niezawodności zestawiono w tab. 4.

- burning or melting of a part;
- inappropriate mating of parts (excessive bending parts, non-coaxial mating);
- excessive clearance, damage to moving connection (revolving, rotation and return motion, to-and-fro motion);
- other, not specified (e.g. tyre puncture, air block in the fuel system, etc.).

For the defects listed the set of damage types U was established:

$$U = \{ u_1, u_2, \dots, u_{13} \} \quad (1)$$

For each failure type occurring, identification and description of possible causes were carried out. Those causes are identified for the purpose of estimating the probability of damage occurring, revealing the secondary effects and give orders for corrective actions.

The following division of the types of failure causes was assumed for analysis of types and consequences of failures:

- inappropriate operational conditions;
- inappropriate service, driver error (e.g. collision with another vehicle or an obstacle);
- construction defects;
- production defects (material, technical, assembly, etc.);
- wear resulting from friction, corrosion, aging and similar processes;
- damage during repair of another part (during disassembly);
- bad maintenance of the vehicle;
- other, undetermined.

The assumed division of defects and their causes allowed macroscopic assessment of the damage form and assumed cause of it against the background of operational situation and work conditions when the damage to a given component occurred.

In the process of operation defects of the same component can take various forms and occur as a consequence of different causes [2]. In reality it is also possible to notice different forms of damage appearing in one part of the vehicle.

3. Results of reliability tests

Table 2 presents the types of damages and number of times of their occurrence for Volkswagen LT-46 busses; that table also gives the average value of that type of damage. Identical data for Jelcz M081MB busses is given in table 3.

Analyzing the number of occurrences of individual forms of defects presented in tables 2 and 3 it should be concluded that during the covered period Volkswagen LT -46 type busses were characterized by lower number of defects occurrences than Jelcz M081MB type busses in each group of defects. Some types of defects occurred in Volkswagen busses even three times less frequently than in the Jelcz busses tested.

The data collected during operational studies was used to determine the basic indicators of reliability for the busses tested [3]. Selected reliability indicators are presented in table 4.

As indicated by the results of the operational studies the values of indicators for individual groups of vehicles were dif-

Tab. 2. Rodzaje uszkodzeń i ich krotności występujące w badanych pojazdach typu Volkswagen LT-46
 Tab. 2. Types of defects and number of times of their appearance in the tested Volkswagen LT-46 type busses

Rodzaje uszkodzeń / Damage type	u_i	Numery autobusów / Bus number										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Śr.
Złamanie lub pęknięcie części / break or fracture of a part	u_1	1	1	0	1	1	0	0	2	2	1	0,9
Zniszczenie połączenia stałego / destruction of a fixed connection	u_2	2	0	0	0	0	1	0	1	3	2	0,9
Zniekształcenie przestrzenne części / spatial deformation of a part	u_3	4	2	1	1	2	3	2	4	1	3	2,3
Zerwanie części / part rupture	u_4	0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	1,0
Poluzowanie połączeń / loosening of connection	u_5	0	3	0	1	0	3	1	4	2	1	1,5
Nadmierne zużycie części / excessive wear of parts	u_6	9	11	7	10	8	15	7	11	6	6	9,0
Przecieki / leakages	u_7	5	2	4	7	4	8	3	3	12	1	4,9
Zatarcie lub zablokowanie części / seizure or blocking of parts	u_8	1	2	2	1	1	0	1	0	1	1	1,0
Zwarcie lub przerwa w obwodzie / short circuit or break in an electric circuit	u_9	8	3	8	6	10	2	4	8	12	11	7,2
Spalenie lub stopienie części / burning or melting of a part	u_{10}	8	7	7	6	3	5	5	12	7	6	6,6
Niewłaściwa współpraca części / inappropriate mating of parts	u_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nadmierne luzy w połączeniach ruchowych / excessive clearance, damage to moving connection	u_{12}	18	5	16	8	17	18	15	15	16	31	15,9
Inne, niewymienione / Other not specified	u_{13}	6	6	2	3	0	0	2	2	1	0	2,2

Jak wynika z rezultatów przeprowadzonych badań eksploatacyjnych, wartości wskaźników dla poszczególnych grup pojazdów są zróżnicowane. Analizując uzyskane wartości wskaźników stwierdzono, że do oceny niezawodności pojazdów podczas ich użytkowania najbardziej miarodajną wielkością jest parametr strumienia uszkodzeń, mierzony jako średnia liczba uszkodzeń przypadająca na jednostkę przebiegu w kilometrach. Porównując wartości parametru strumienia uszkodzeń obu grup pojazdów zauważono, że różnica między nimi przekracza 150%. Dla autobusów typu Jelcz wskaźnik ten wynosił aż 2,03 natomiast dla autobusów Volkswagen tylko 0,88. Średni przebieg pomiędzy kolejnymi naprawami dla autobusów typu Volkswagen (1140 km) jest ponad dwukrotnie większy niż na porównywanego typu autobusów (496 km).

ferentiated. Analyzing the obtained values of indicators it was established that the parameter of the stream of defects measured as the number of defects per unit of mileage in kilometers is the most adequate value for assessment of reliability of vehicles during operation. Comparing the value of the stream of defects parameter values for both groups of vehicles it was noticed that the difference between them exceeded 150%. For Jelcz type busses that indicator was as much as 2.03 while for Volkswagen busses 0.88 only. The average mileages between consecutive repairs for Volkswagen type busses (1140 km) are more than twice higher than for the comparable Jelcz type busses (496 km).

Tab. 3. Rodzaje uszkodzeń i ich krotności występujące w badanych pojazdach typu Jelcz M081MB
 Tab. 3. Types of defects and number of times of their appearance in the tested Jelcz M081MB type busses

Rodzaje uszkodzeń / Damage type	u_i	Numery autobusów / Bus number									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Śr.
Złamanie lub pęknięcie części / break or fracture of a part	u_1	6	9	4	5	2	3	4	2	3	4,2
Zniszczenie połączenia stałego / destruction of a fixed connection	u_2	4	0	0	0	1	4	3	3	2	1,9
Zniekształcenie przestrzenne części / spatial deformation of a part	u_3	2	4	3	6	6	5	8	10	13	6,3
Zerwanie części / part rupture	u_4	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0,7
Poluzowanie połączeń / loosening of connection	u_5	9	13	4	3	7	9	9	5	8	7,4
Nadmierne zużycie części / excessive wear of parts	u_6	13	14	10	18	21	17	13	15	11	14,7
Przecieki / leakages	u_7	12	13	7	11	9	17	12	8	14	11,4
Zatarcie lub zablokowanie części / seizure or blocking of parts	u_8	3	0	2	7	13	19	16	18	22	11,1
Zwarcie lub przerwa w obwodzie / short circuit or break in an electric circuit	u_9	16	8	18	36	37	23	17	23	34	23,6
Spalenie lub stopienie części / burning or melting of a part	u_{10}	16	11	11	7	12	15	8	13	14	11,9
Niewłaściwa współpraca części / inappropriate mating of parts	u_{11}	0	1	2	0	2	8	3	4	2	2,4
Nadmierne luzy w połączeniach ruchowych / excessive clearance, damage to moving connection	u_{12}	21	19	10	15	19	20	24	12	19	17,7
Inne, niewymienione / Other not specified	u_{13}	10	17	26	20	17	10	11	8	18	15,2

Tab. 4. Wartości liczbowe wybranych wskaźników niezawodności badanych pojazdów
 Tab. 4. Numeric values of selected reliability indicators for busses studied

Wskaźnik / Indicator	Rodzaj pojazdu / Vehicle type	
	Volkswagen LT-46	Jelcz M081MB
Wskaźnik efektywnego wykorzystania pojazdu Vehicle effective use indicator K_{w2}	0,844	0,801
Średni przebieg między naprawami Average mileage between repairs I_{mn} [km]	1140	496
Parametr skumulowanego strumienia uszkodzeń Parameter of cumulated stream of defects A_s [uszk/1000km]	0,88	2,03
Średnia pracochłonność napraw Average work intensity of repair P_n [rbh/1000km]	2,25	3,76
Wskaźnik gotowości technicznej Technical availability index K_g	0,934	0,901

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz wyznaczonych wskaźników niezawodności należy stwierdzić, iż autobusy typu Volkswagen LT-46 charakteryzują się lepszymi właściwościami eksploatacyjnymi od porównywanych autobusów typu Jelcz M081MB.

Analizując rodzaje uszkodzeń można stwierdzić, iż w obu analizowanych przypadkach częstą przyczyną uszkodzeń pojazdów są nadmierne zużycie elementów, uszkodzenia instalacji elektrycznej oraz uszkodzenia połączeń ruchowych. Należy jednak zaznaczyć że w autobusach Jelcz M081MB uszkodzenia te występują częściej, ponadto równie często w autobusach tych występują wycieki płynów eksploatacyjnych, zatarcie lub zablokowanie połączeń ruchowych.

5. References

- [1] Camangi R., Gibelli M. C., Rigamonti P.: *Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion*. Ecological Economics 40/2002. Elsevier Science B.V.
- [2] Mackiewicz M.: *Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń pojazdów wg PN-IEC-812*. Praca magisterska wykonana pod kierunkiem R. Michalskiego, UWM Olsztyn, 2004.
- [3] Niziński S.: *Eksploatacja obiektów technicznych*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, 2002.
- [4] PN-77 N-04005. *Wskaźniki niezawodności*. Nazwy, określenia i symbole.
- [5] PN-IEC-812:1994. *Techniki analizy nieuszkodzalności systemów*. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń.

4. Conclusion

On the basis of the conducted studies and determined reliability indicators it should be concluded that Volkswagen LT-46 type busses possess better operational characteristics than Jelcz M081MB type busses compared with them.

Analyzing the types of defects it can be concluded that in both analyzed cases excessive wear of components, defects of electrical installation and damages to moving connections are the frequent causes of defects of the vehicles. It should be pointed out, nevertheless that in Jelcz M081MB type busses those defects occur more frequently and that additionally in that type of busses leakages of operational liquids, seizures or blocking of moving connections occurred equally frequently.

Prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI
Dr inż. Sławomir WIERZBICKI
 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
 Wydział Nauk Technicznych
 Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
 Ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn
 michr@uwm.edu.pl, slawekw@uwm.edu.pl