

ANALIZA USZKODZEŃ UKŁADÓW HAMULCOWYCH W POJAZDACH KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W LUBLINIE W LATACH 2011 - 2015

Celem artykułu jest analiza liczby uszkodzeń układu hamulcowego. Wstępnym etapem są analizy statystyczne opisujące częstotliwość pojawiania się uszkodzeń tego układu. W niniejszym artykule autorzy przedstawili wyniki takiej analizy dla wybranej grupy autobusów eksploatowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacji w Lublinie. Analizę statystyczną uszkodzeń układu hamulcowego przeprowadzono w okresie od 2011 do 2015 roku dla grupy pojazdów marki Jelcz M121M.

WSTĘP

Nauka o eksploatacji obiektów technicznych jest dziedziną wiedzy, która zajmując się ich optymalnym wykorzystaniem zgodnie z przeznaczeniem. Kryterium optymalizacji to pogodzenie przeciwnych wymagań, takich jak: maksymalnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego i zapewnienie najlepszego komfortu i niezawodności użytkownika [11]. Niezawodność jest ściśle powiązana z trzema podstawowymi charakterystykami – nieuszkodzalnością, obsługiwalnością oraz zdolnością do wsparcia logistycznego [12,13,14]. W związku z tym niezawodność można określić w odniesieniu do jego zdolności do zapewnienia możliwości podróżowania z miejsca A do miejsca B w określonym czasie i warunkach użytkowania [1]. Taka definicja oznacza konieczność analizy niezawodnościowej w odniesieniu do pewnych obszarów [6,15]: zawodności środków transportu – obejmującego m.in. oszacowanie intensywności uszkodzeń, czy optymalizacji zadań obsługiwanego, zawodności infrastruktury – w odniesieniu np. do niezawodności sieci transportowej, występowania niepożądanych zdarzeń losowych. Intensywność użytkowania odzwierciedla przede wszystkim stopień wykorzystania samochodu, który zależy przede wszystkim od przyjętej strategii jego eksploatacji [3,7]. Eksploatacja to ogół wszystkich zdarzeń, zjawisk i procesów związanych z funkcjonowaniem danego obiektu do chwili zakończenia procesu jego wytwarzania do chwili likwidacji. Celem systemu eksploatacji obiektów technicznych jest racjonalne użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem, utrzymanie obiektów technicznych w stanie zdadności, umożliwiając ich prawidłowe funkcjonowanie w zakresie wykonywania zadań operacyjnych w zadanych warunkach i czasie oraz ograniczenie negatywnego wpływu obiektów technicznych na środowisko naturalne [4,10]. Obsługiwanie obiektów technicznych określono, jako zbiór czynności profilaktyczno-zapobiegawczych, których zadaniem jest podtrzymanie własności użytkowych (przeglądy techniczne) oraz zbiór czynności naprawczych, których zadaniem jest odtworzenie własności użytkowych obiektów technicznych [5].

Autorzy w niniejszym artykule opisali wyniki analizy statystycznej danych związanych z liczbą uszkodzeń zespołów układu hamulcowego autobusów eksploatowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie przez okres pięciu lat

1. ANALIZA STATYSTYCZNA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Eksploatacja pojazdów nierozzerwalnie łączy się z możliwością powstawania uszkodzeń.

Przedsiębiorstwo transportowe powinno zapewnić stały monitoring uszkodzeń i niesprawności użytkowanego taboru. Jest to bar-

dzo ważne z punktu widzenia zapewnienia bieżącej gotowości całego systemu komunikacji zbiorowej w mieście, ale również z punktu widzenia planowanych zakupów nowych autobusów. Wprowadzenie nowych typów pojazdów pociąga za sobą konieczność poznania właściwości eksploatacyjnych tych pojazdów. Jest to konieczne nie tylko do oceny przydatności poszczególnych pojazdów czy określenia ich kosztów eksploatacji, ale również do określenia ich części zapasowych czy też obsady obsługi technicznej [9].

Analizę statystyczną uszkodzeń układu hamulcowego występującego w okresie od 2011 do 2015 roku przeprowadzono dla grupy pojazdów marki Jelcz M121M eksploatowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacji w Lublinie. W tabeli 1 wskazano wybrane dane techniczne.

Tab. 1. Wybrane dane techniczne analizowanych pojazdów [7].

Dane techniczne	
Silnik	MAN D0826 LUH12
Pojemność skokowa	6 900 cm ³
Moc maksymalna/przy obr./min.	162 kW (220 KM).
Moment maksymalny/przy obr./min.	1100 Nm przy 1100 obr/min
Mechanizm hamulców	
Rodzaj	bębnowe
Układ uruchamiający	pneumatyczny
Wymiary pojazdu	
Długość	11965 mm
Szerokość	2500 mm
Wysokość	3021 mm
Rozstaw osi I - II	6100 mm

Liczebność próby wynosiła w 2011 r. i 2012 r. 39, 2013 r. 36, 2014 r. 33 i 2015 r. 23 pojazdy marki Jelcz M121. W trakcie badania uwzględniono wszystkie zdarzenia w okresie od 2011 do 2015 roku. Biorąc pod uwagę elementy układu hamulcowego takie jak:

- bęben hamulcowy;
- główny zawór hamulcowy;
- siłownik hamulca;
- zawór hamulca ręcznego;
- system ABS

Dane do przeprowadzonych obliczeń uzyskano na podstawie liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego badanego autobusu. Analizę statystyczną tych danych wykonano przy wykorzystaniu programu STATISTICA PL [2].

W pierwszym etapie tej analizy obliczono statystyki opisowe charakteryzujące analizowane zmienne, co przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Tab. 2. Tabela przekrojów statystyk opisowych [7].

Miesiąc	Wartość średnia	Suma uszkodzeń	Odczylenie standardowe	Wartość min.	Wartość max.
I	2,80	495	1,99	0,00	11,00
II	2,61	462	2,21	0,00	12,00
III	2,63	466	2,04	0,00	11,00
IV	2,45	433	1,61	0,00	10,00
V	2,33	413	1,59	0,00	8,00
VI	2,50	443	1,86	0,00	9,00
VII	2,20	389	1,51	0,00	10,00
VIII	2,44	431	1,85	0,00	11,00
IX	2,38	422	1,73	0,00	8,00
X	2,40	424	1,77	0,00	14,00
XI	2,37	419	1,59	0,00	9,00
XII	2,37	420	1,89	0,00	13,00

Analizując wyniki z tabeli 2 należy zauważyć, że istnieją różnice w wartości średniej liczby uszkodzeń w poszczególnych miesiącach. Najwięcej uszkodzeń układu hamulcowego wystąpiło w pierwszym kwartale analizowanego okresu. W miesiącu styczniu wartość średnia w systemie obsługi i napraw w układzie hamulcowym na jeden pojazd to 2,80 gdzie w ciągu 5 lat zaobserwowano ich 495. W kolejnych miesiącach (luty, marzec) wartość średnia spada i wynosi kolejno 2,61 i 2,63, miesiąc marzec miał o 4 uszkodzenia więcej w porównaniu do lutego. Od kwietnia można zauważyć znaczny spadek uszkodzeń, 33 mniej w porównaniu do lutego, zaś w maju 53. Od czerwca można zauważyć znaczny wzrost liczby zleceń w systemie obsługi i napraw (w ciągu miesiąca to 30 uszkodzeń więcej). W lipcu zaobserwowano najniższą liczbę uszkodzeń (389) w ciągu pięciu lat, średnio 2,20 na pojazd. Po miesiącu eksploatacji można zauważyć, że w sierpniu liczba uszkodzeń (431) znowu wzrasta. Od września do grudnia liczba zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego osiąga przybliżone wartości. Liczba uszkodzeń wzrasta lub spada, wahając się w przedziale 1-5.

Tab. 3. Parametry położenia i rozrzutu liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego w latach 2011-2015.

Zmienna	Rok	Wartość średnia	Wartość min.	Wartość max.	Odczylenie standardowe	Skośność	Kurtzoza
Układ hamulcowy	2011	2,14	0,00	10,0	1,73	0,96	1,27
	2012	2,55	0,00	9,00	1,45	0,66	1,54
	2013	2,83	0,00	14,0	2,24	1,83	4,84
	2014	2,32	0,00	11,0	1,82	1,13	2,38
	2015	2,47	0,00	11,0	1,65	1,12	3,24

Analizując wyniki z tabeli nr 3 można zauważyć znaczące różnicę w wartościach średnich liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw w analizowanych latach. Największe wartości średniej (2,83) przypadają na 2013 rok, gdzie analizowano

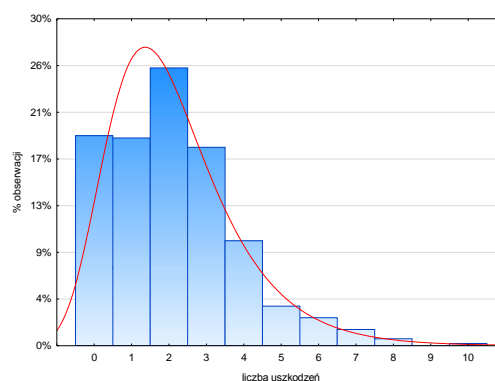
36 pojazdów marki Jelcz M121M. W 2012 roku analizie poddano 39 pojazdów, wartość średnia liczby zleceń z systemie obsługi i napraw to 2,55. Dla 2015 roku wartość średnia liczby uszkodzeń przypadająca na jeden pojazd to 2,47, gdzie przeprowadzono analizę 23 pojazdów. W 2014 roku przeanalizowano 33 pojazdy, średnio na jeden miesiąc przypadają 76 uszkodzeń układu hamulcowego, czyli 2,32 zlecenia w systemie obsługi i napraw na jeden pojazd. Najlepiej w zestawieniu wypadł pierwszy rok analizy (2011 rok). W danym roku przeanalizowano uszkodzenia dla 39 pojazdów danej marki.

W kolejnym kroku przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników badań na poziomie ufności $\alpha = 0,05$. Na początku przeprowadzono analizę statystyczną w celu sprawdzenia normalności rozkładu, przy wykorzystaniu testu normalności - Shapiro-Wilka. Jego wyniki zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wyniki badania zgodności rozkładów empirycznych z rozkładem normalnym liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego autobusu Jelcz M121M w latach 2011-2015.

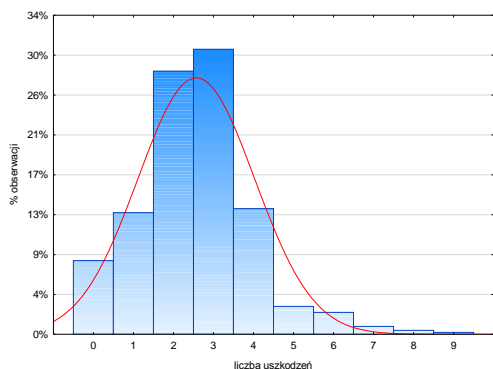
Zmienna	Rok	Statystyka Shapiro-Wilka S-W	Poziom prawdopodobieństwa p	Normalny	Statystyka Kolmogorowa-Smirnowa K-S	Poziom prawdopodobieństwa p	Rozkład oraz jego parametry
Układ hamulcowy	2011	0,9061	0,00001	nie	0,1564	p<0,01	Wartości ekstremalnych położenie=1,3528 skala=1,3463
	2012	0,9251	0,00001	nie	0,1762	p<0,01	Normalny położenie=2,5534 skala=1,4513
	2013	0,8332	0,00001	nie	0,1424	p<0,01	Wartości ekstremalnych położenie=1,8969 skala=1,5459
	2014	0,8980	0,00001	nie	0,1586	p<0,01	Normalny położenie=2,3226 skala=1,8243
	2015	0,9054	0,00001	nie	0,1710	p<0,01	Wartości ekstremalnych położenie=1,7147 skala=1,3450

Analiza zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym testem Shapiro-Wilka odrzuciła hipotezy o normalności rozkładów w analizowanym okresie.



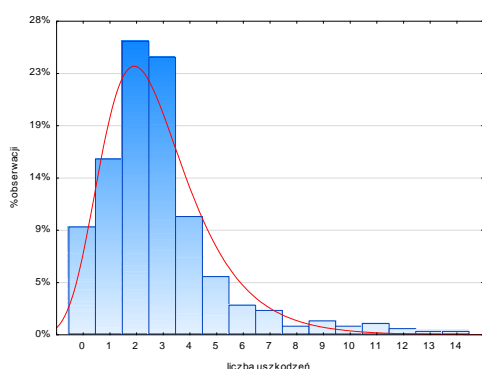
Rys. 1. Histogram liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego dla 2011 roku.

Źródło: Opracowanie własne



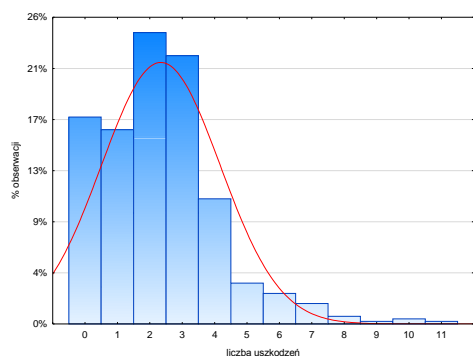
Rys. 2. Histogram liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługa i napraw układu hamulcowego dla 2012 roku.

Źródło: Opracowanie własne



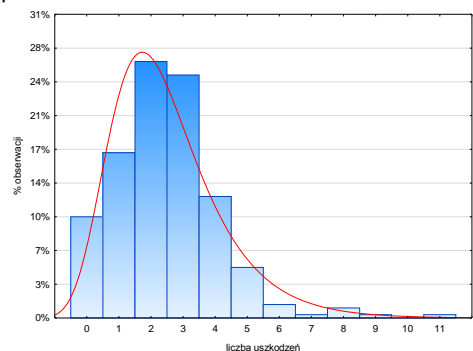
Rys. 3. Histogram liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługa i napraw układu hamulcowego dla 2013 roku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Histogram liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługa i napraw układu hamulcowego dla 2014 roku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Histogram liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługa i napraw układu hamulcowego dla 2015 roku. Źródło: Opracowanie własne

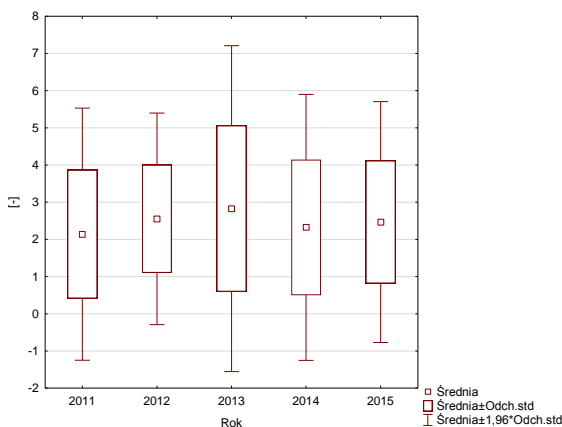
Badania zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym wykazały, że rozkład liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego w latach 2011 - 2015 nie można dopasować rozkładem normalnym. Z histogramu rys. 1 wynika, że około 25% obserwacji liczby zleceń (około 10 pojazdów) z badanej populacji uzyskało 2 uszkodzenia w ciągu badanego roku. Na granicy obserwacji między 18% a 19% czyli dla 21 pojazdów wystąpiło kolejno 0, 1 i 3 uszkodzenia. 10% pojazdów marki Jelcz M121M uzyskało 4 uszkodzenia. W 2012 roku populacja analizowanych autobusów wynosiła tak jak 2011 roku 39 pojazdów. Około 12 pojazdów marki Jelcz M121M uzyskało 3 uszkodzenia (31% pojazdów w badanym przedziale czasu – rys. 2). Dla 28% obserwacji liczby zleceń w systemie obsługi i napraw czyli w przeliczeniu 11 pojazdów ma 2 uszkodzenia. Na zbliżonym poziomie liczby zleceń (1 i 4) uzyskano w granicach 13% obserwacji. W badanej populacji w 3 pojazdach nie wystąpiło w danym roku uszkodzenie. W przypadku zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem normalnym wykazały, że rozkład w 2013 roku nie można dopasować rozkładem normalnym z histogramu rys 3 wynika, że około 26% pojazdów uzyskało 2 uszkodzenia (9 pojazdów) natomiast dla 24% wynosi 3. Dla 16% obserwacji (6 pojazdów) wystąpiło jedno uszkodzenie natomiast dla 4 nie zaobserwowano uszkodzenia. Przy 10% obserwacji liczby zleceń wystąpiło cztery uszkodzenia (4 pojazdy), największa liczba uszkodzeń (5) uzyskały 2 pojazdy. Co 4 pojazd (25% - rys. 4) w 2014 roku w populacji 39 autobusów uległ uszkodzeniu przynajmniej 2 razy. Dla 7 autobusów nie wystąpiło uszkodzenie, zaś dla 6 tylko jedno. W całym badanym przedziale czasowym tylko jeden autobus wykazał największą awaryjność (5 uszkodzeń). W 2015 roku analizowana liczba autobusów wynosiła 23. Z histogramu rys. 5 wynika, że około 26% obserwacji (6 pojazdów) uzyskało 2 uszkodzenia, jedno uszkodzenie mniej wystąpiło dla 5 pojazdów. Dla 10% obserwacji nie wystąpiły uszkodzenia. Jeden pojazd marki Jelcz M121M uzyskał największą awaryjność w ciągu roku.

Statystyki opisowe oraz histogram empiryczny liczby uszkodzeń wskazują, że można aproksymować rozkład liczby zarejestrowanych zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego rozkładem wartości ekstremalnych w 2011 r., 2013 r. i 2015 r., natomiast w 2012 r. i 2014 r. rozkładem normalnym o parametrach z tabeli 4, co zilustrowano na rysunkach 1-5.

Na podstawie wyników zaprezentowanych w tabeli 4 stwierdzono, że test Shapiro-Wilka odrzuca hipotezę o normalności rozkładów zarejestrowanych liczby zleceń w systemie obsługi i napraw w latach 2011-2015. Jeśli potraktujemy liczbę zarejestrowanych zleceń z poszczególnych lat jako próby niezależne, z tego powodu zastosujemy nieparametryczną analizę wariancji z wykorzystaniem testu Kruskala-Wallisa K-W [1]. Wynik tej analizy dla czynnika grupującego jakim jest rok analizowanych uszkodzeń układu hamulcowego wyniósł K-W = 36,70959, p=0,00001.

Tab. 5. Wyniki porównań wielokrotnych dla średniej liczby zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego autobusu Jelcz M121M w latach 2011 – 2015.

Rok	2011	2012	2013	2014	2015
2011	---	0,000013	0,000017	1,000000	0,024891
2012	0,000013	---	1,000000	0,013436	1,000000
2013	0,000017	1,000000	---	0,014194	1,000000
2014	1,000000	0,013436	0,014194	---	1,000000
2015	0,024891	1,000000	1,000000	1,000000	---



Rys. 6. Skategoryzowany wykres ramkowy dla czynnika grupującego, jakim jest rok analizowanych uszkodzeń i liczby zleceń w systemie obsługi i napraw

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 5 zaprezentowano wyniki porównań wielokrotnych (dwustronnych - post-hoc) testu K-W dla analizowanej liczby uszkodzeń układu hamulcowego w latach 2011-2015. Na rysunku 6 przedstawiono skategoryzowane wykresy ramka-wąsy dla liczby zleceń w systemie obsługi i napraw układu hamulcowego. Wyniki testów post-hoc wskazują jednoznacznie, że obserwowane różnice dla wartości średniej (rys. 6) liczby w systemie obsługi występują pomiędzy 2011 r. a 2012, 2011 r. a 2013 r., 2011 r. a 2015 r., 2012 r. a 2014 r. i 2013 r. a 2014 r.

PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki analiz statystycznych uszkodzeń układu hamulcowego dla wybranej marki pojazdów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacji w Lublinie pozwalają na stwierdzenie następujących wniosków:

1. W 2012 roku wystąpiło najwięcej uszkodzeń na miesiąc.
2. W ciągu analizowanego okresu czasu w styczniu wystąpiła największa liczba uszkodzeń. Również wartość średnia liczby uszkodzeń przypadająca na jeden pojazd była największa.
3. W miesiącu lipcu przez okres pięciu lat przypadła najniższa wartość średniej liczby uszkodzeń na jeden pojazd, jak również najmniejsza suma uszkodzeń.
4. Najbardziej awaryjnym kwartałem od 2011 roku do 2015 roku był kwartał 1, natomiast najmniej kwartał 3.

Należy zaznaczyć, że dopiero szczegółowa analiza obserwowanych uszkodzeń poszczególnych elementów tworzących układy bezpieczeństwa pojazdów pozwoli na określenie jakie dokładnie przyczyn je powodują i jak można temu zapobiegać. Autorzy mają zamiar to wykonać w przyszłości.

BIBLIOGRAFIA

1. Berdica, K.: An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. *Transport Policy*, Vol. 9, 2012, pp. 117-127.
2. Bobrowski, D.: *Probabilistyka w zastosowaniach technicznych*. WNT, Warszawa 1986.
3. Drożdź Paweł, Rybicka Iwona, Madleňák Radovan, Andrusiak Aleksandra, Siłuch Dariusz.: Comparison of damage to engine assemblies's in the public transport vehicles. *Innovative technologies in engineering production : International scientific conference, Žilina: University of Žilina, 2016, s. 42-47.*
4. Hebda, M.: *Eksploatacja samochodów*. Wydawnictwo Instytutu Technologii i eksploatacji – PIB, Radom 2005.

5. Hebda, M., Janicki D.: *Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1977.
6. Jodejko A., Molecki B.: Method for definition of the number of spare vehicles on case of tram network in Wrocław. *City and Regional Transportation*, No. 1, 2008. 16
7. Krzywonos L., Nieoczym A., Siłuch D., Krzysiak Z.: Analiza kosztów napraw samochodów w firmie transportowej. *Logistyka* 6/2014, str. 6220-6224.
8. *Materiały wewnętrzne Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie.*
9. Michalski R., Wierzbicki S.: *Badania porównawcze niezawodności autobusów komunikacji miejskiej*. Eksploatacja i Niezawodność, 4/2006.
10. Niziński S., Machalski R.: *Utrzymanie pojazdów i maszyn*. Wydawnictwo Instytutu Technologii i Eksploatacji, Radom 2007.
11. Niewczas A.: red. *Podstawy trwałości eksploatacji samochodów ciężarowych*. Wydawnictwo LTN. Lublin 1997.
12. Nowakowski T.: *Problemy modelowania niezawodności sieci transportowych*. [w:] Strategie i logistyka organizacji sieciowych. Witkowski J. (red.). *Prace Naukowe AE we Wrocławiu nr 1078*. Wrocław 2005.
13. Tubis A., Werbińska -Wojciechowska S.: *Zagadnienie oceny niezawodności systemu drogowego transportu pasażerskiego*. Studium przypadku., *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Z 102 Transport* 2014.
14. Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: *Niezawodność systemów technicznych*. PWN. Warszawa 1990.
15. Yatskiv I., Pticina I., Savrasovs M.: *Urban public transport system's reliability estimation using microscopic simulation*. *Transport and Telecommunication*, Vol. 43, No. 9, 2012.

Analysis of brake system damage in vehicles municipal communication in Lublin in the years 2011 – 2015

The aim of this article is to analyze the number of damage to the braking system. The preliminary stage is the statistical analysis describing the frequency of occurrence of damage of this system. In this article the authors present the results of this analysis for the selected group of buses operated by Municipal Communication Company in Lublin. A statistical analysis of damage to the braking system was carried out in the period from 2011 to 2015 for the group of vehicles Jelcz M121M.

Autorzy:

mgr inż. Iwona Rybicka – Politechnika Lubelska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Transportu Silników Spalinowych i Ekologii, i.rybicka@pollub.pl

dr hab. inż. Paweł Drożdź, prof. PL – Politechnika Lubelska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Transportu Silników Spalinowych i Ekologii, p.drozdziel@pollub.pl

prof. dr hab. inż. Henryk Komsta – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Transportu Silników Spalinowych i Ekologii, h.komsta@pollub.pl;

doc. Ing. Lucia Madleňákova, PhD. – University of Žilina, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, Department of Communications, Univerzitna 1, 01026 Žilina, Slovak Republic, lucia.madlenakova@fpedas.uniza.sk.

doc. Ing. Michal Šajgalik, PhD. - University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Univerzitna 1, 010 26, Žilina, SK, michal.sajgalik@fstroj.uniza.sk.