Analiza gotowości autobusów miejskich w wybranych okresach użytkowania

JEL: O18. DOI: 10.24136/atest.2018.347.

Data zgłoszenia: 7.10.2018. Data akceptacji: 30.11.2018.

Celem artykułu jest porównanie gotowości technicznej autobusów miejskich. Przeprowadzono badania 2 popularnych marek autobusów w funkcji czasu użytkowania, w okresie 6 lat eksploatacji, w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym w Lublinie. Zaprezentowano nowy podział czasu eksploatacji na okres pełnej przydatności eksploatacyjnej i okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej pojazdów. Wykazano, że średnie wartości gotowości technicznej badanych autobusów różniły się istotnie między sobą ze względu na markę pojazdu, a także ze względu na okres eksploatacji. Do oceny istotności różnic wykorzystano metodę analizy wariancji ANOVA.

Słowa kluczowe: gotowość techniczna, autobusy komunikacji miejskiej, okres pełnej przydatności, okres ograniczonej przydatności.

Wstęp

Ważnym składnikiem społecznych potrzeb transportowych są przewozy ludzi w dużych aglomeracjach miejskich. Zadania te realizowane są przez wyspecjalizowane systemy transportu miejskiego. W tym obszarze szczególnie ważne są: właściwe zarządzanie realizacją zadań przewozowych oraz zapewnienie niezawodności środków transportu.

Wysokie standardy niezawodności środków transportu są oczekiwane nie tylko przez pasażerów, ale i przez przewoźników, ponieważ umożliwiają zmniejszenie kosztów działania przedsiębiorstwa [2, 7], a jednocześnie są warunkiem prestiżu i zaufania ze strony użytkowników.

Możliwość prawidłowej i efektywnej realizacji zadań przewozowych w istotny sposób zależy od poziomu gotowości środków transportu i ich naprawialności. Wzrost jakości wykonywanych napraw oraz skrócenie czasu naprawy powodują zwiększenie przebiegów między uszkodzeniami oraz wzrost gotowości technicznej [1]. W konsekwencji prowadzi to do większego wykorzystania zdolności przewozowej przedsiębiorstwa transportowego [5]. Badania empiryczne potwierdzają, że poziom gotowości technicznej jest funkcją ich stanu technicznego, determinowane przebiegiem i czasem eksploatacji [3].

Uwzględniając przedstawione przesłanki, w niniejszym artykule przedstawiono wybrane aspekty analizy gotowości technicznej autobusów. Model oceny gotowości opracowano na podstawie danych pozyskanych z Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie.

1. Gotowość techniczna autobusów

Gotowość obiektu technicznego definiuje się jako prawdopodobieństwo znajdowania się obiektu w stanie zdatności [10]. Wskaźnik ten interpretowany jest jako prawdopodobieństwo zdolności do podjęcia pracy w określonym czasie [6, 14]. Gotowość zależy nie tylko od przestojów związanych z utrzymaniem technicznym pojazdów, ale również od prawdopodobieństwa nie-

wykonania przez system przypisanych mu funkcji [15, 17]. Na podstawie literatury [4, 16] oraz dokumentacji eksploatacyjnej MPK w Lublinie przyjęto w niniejszej pracy, iż gotowość techniczna będzie definiowana według następującego wzoru [11]:

$$K_g(t) = \frac{N_z - N_n}{N_z} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

N_z – liczba autobusów zdalnych w danym okresie eksploatacji w rozpatrywanym systemie transportowym;

N_n – liczba autobusów niezdatnych w danym okresie eksploatacji w rozpatrywanym systemie transportowym.

Celem oceny gotowości technicznej autobusu jest najczęściej wyznaczenie prognozy, czy dany obiekt techniczny będzie znajdował się w stanie zdalności w przyszłości i czy umożliwi to realizację zadania przewozowego.

Do statystycznego porównania gotowości technicznej badanych marek autobusów wykorzystano metodę analizy wariancji [10–12].

3. Przebieg badań

Obiektem badań były autobusy 2 marek pojazdów D (producent krajowy) i I (producent zagraniczny), użytkowanych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym w Lublinie. Autobusy te należą do klasy pojazdów maxi. Badania prowadzone były metodą próby ciągłej. Autobusy były eksploatowane w podobnych warunkach. Pojazdy pochodziły z 1 partii produkcyjnej (autobusy posiadały kolejne numery podwozia) i były wprowadzone do eksploatacji w jednakowym czasie.

Liczność próbki wynosiła 20 obiektów marki D oraz 22 obiekty marki I. Dane rejestrowano w okresie 72 miesięcy. Średnie dzienne przebiegi autobusów wynosiły około 251 km, wahania skrajne nie przekraczały 7 km. Średni miesięczny przebieg wyniósł 6 096 km dla autobusów D i 6 464 km dla autobusów I. Badane autobusy obsługiwały regularne linie komunikacyjne w ruchu miejskim.

3. Wyniki badań empirycznych

Wskaźniki gotowości technicznej autobusów marki D i I przedstawiono w zależności od czasu użytkowania. Na rys. 1 zaprezentowano wykres gotowości w ujęciu rocznym, a statystyki opisowe podano w tab. 1.

W przypadku autobusów marki D można zauważyć spadek gotowości technicznej w całym 6-letnim okresie użytkowania, przy współczynniku zmienności równym 6,1%. W przypadku autobusów marki I średnia gotowość techniczna maleje dopiero po upływie 3 lat. Współczynnik zmienności był tu równy 6,0% w całym okresie 6 lat eksploatacji.

W dalszej części analizy wyników badań w całkowitym obserwowanym okresie 6 lat użytkowania wyróżniono: „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej”, obejmujący pierwsze 3 lata użytkowania pojazdów, oraz „okres ograniczonej przydatności eks-

Rys. 1. Średnia gotowość techniczna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Źródło: oprac. własne.

Rys. 2. Średnia gotowość techniczna autobusów w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Źródło: oprac. własne.

Tab. 1. Statystyki opisowe gotowości technicznej autobusów marki D i I w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Lata	Gotowość techniczna Kg_{sr} [-]									
	marka D					marka I				
	średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności	wartość minimalna	wartość maksymalna	średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności	wartość minimalna	wartość maksymalna
1	0,910	0,04	0,049	0,807	0,968	0,900	0,086	0,095	0,677	1,000
2	0,882	0,05	0,052	0,813	0,950	0,903	0,078	0,087	0,690	0,984
3	0,888	0,06	0,064	0,769	0,967	0,944	0,025	0,026	0,908	0,981
4	0,849	0,06	0,068	0,764	0,944	0,890	0,037	0,042	0,819	0,960
5	0,845	0,04	0,046	0,772	0,920	0,874	0,081	0,093	0,649	0,968
6	0,847	0,07	0,087	0,700	0,962	0,921	0,032	0,034	0,864	0,966

Źródło: oprac. własne.

Tab. 2. Statystyki opisowe gotowości technicznej autobusów marki D i I w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Okres	Marka	Gotowość techniczna Kg_{sr} [-]				
		średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności	wartość minimalna	wartość maksymalna
PPE	D	0,894	0,051	0,057	0,769	0,968
OPE	D	0,847	0,058	0,069	0,700	0,962
PPE	I	0,916	0,071	0,078	0,677	1,000
OPE	I	0,895	0,058	0,065	0,649	0,968

Źródło: oprac. własne.

ploatacyjnej”, obejmujący kolejne 3 lata użytkowania (4–6 lat). Podział na okresy pełnej przydatności eksploatacyjnej i ograniczonej przydatności eksploatacyjnej wynika z faktu skokowego wzrostu intensywności uszkodzeń pojazdów w drugim okresie ich użytkowania [9, 12].

Wyniki obliczeń średniej gotowości technicznej autobusów w wyróżnionych przedziałach czasu użytkowania przedstawiono

na rys. 2 oraz w tab. 2. Można tu zauważyć znaczącą różnicę gotowości między okresami PPE i OPE. W „okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej”, czyli w okresie 4–6 lat eksploatacji, gotowość autobusów D spadła o 4,7% w stosunku do „okresu pełnej przydatności eksploatacyjnej”, a dla autobusów I – o ponad 2% (rys. 2).

Wartości średnie gotowości technicznej porównano za pomocą typowych testów statystycznych prezentowanych w literaturze przedmiotu. Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji z podziałem na „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej” i „okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej”. Do obliczeń wykorzystano pakiet STATISTICA 10.0. W przeprowadzonym teście czynnikiem klasyfikującym była „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była gotowość techniczna w danym okresie eksploatacji. Sprawdzono, czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączone je z dalszych obliczeń. Wykres ramka – wąsy, po usunięciu obserwacji odstających w okresie ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej, przedstawiono na rys. 3.

Rys. 3. Wykres ramka – wąsy zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (2) po usunięciu obserwacji odstających

Źródło: oprac. własne.

Rys. 4. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (2)

Źródło: oprac. własne.

Założenia niezależności oraz mierzalności zmiennych zostały spełnione. Normalność rozkładu zmiennych sprawdzono, tworząc skategoryzowane wykresy normalności dla każdej z marek pojazdu i przedstawiono je na rys. 4. W teście W Shapiro–Wilka poziom istotności we wszystkich 4 przypadkach jest większy od założonego, $p > \alpha = 0,05$. Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji.

Drugim sprawdzonym założeniem był postulat o jednorodności wariancji. Tab. 3 i 4 przedstawia wartość prawdopodobieństw dotyczących tych testów dla efektu klasyfikującego „marka pojazdu”. Analizując otrzymane dane, można zauważyć, iż w 2 testach normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Można zatem stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji są spełnione we wszystkich analizowanych przypadkach.

Tab. 3. Wyniki testu Levene’a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Test Levene’a jednorodności wariancji			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
PPE	gotowość	marka	0,002	0,001	2,268	0,137
OPE	techniczna	pojazdu	0,000	0,001	0,008	0,929

Źródło: oprac. własne.

Tab. 4. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochran’a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartletta	df	p
PPE	gotowość	marka	1,611	0,617	1,874	1	0,171
OPE	techniczna	pojazdu	1,032	0,508	0,008	1	0,930

Źródło: oprac. własne.

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji, badając wpływ czynnika „marka pojazdu” na wynik gotowości technicznej pojazdów w okresach czasu użytkowania: ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej. Z tab. 5 wynika, że poziom istotności p dla marki pojazdu w obu analizowanych okresach eksploatacji wynosi $p = 0,000$. Zatem, zgodnie z założeniami metody, sugeruje to odrzucenie hipotezy zerowej o równości średnich na korzyść hipotezy alternatywnej, świadczącej o istotnej różnicy gotowości technicznej obu marek autobusów. Wyniki te potwierdza również wykres interakcji (rys. 5).

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono analizę wariancji dla czynnika „okres eksploatacji”, uwzględniając okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i okres pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE). Zmienną zależną była tu gotowość techniczna dla 2 analizowanych marek autobusów.

Rys. 5. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „marka pojazdu” w okresie a) pełnej, b) ograniczonej przydatności eksploatacyjnej autobusów D i I

Źródło: oprac. własne.

a)

Okres eksploatacji dla autobusu D ; Oczekiwane średnie
brzegowe

Bieżący efekt: $F(1, 70)=12,85$, $p=,0006$

b)

Okres eksploatacji dla autobusu I ; Oczekiwane średnie
brzegowe

Bieżący efekt: $F(1, 70)=4,739$, $p=,0328$

Rys. 6. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” – pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) (1) i ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) (2) autobusów marki a) D, b) I

Źródło: oprac. własne.

Tab. 5. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) oraz ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Okres eksploatacji	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	Stopnie swobody	MS	F	p
PPE	wyraz wolny	58,32	1	58,32	26956,3	0,000
	marka pojazdu	0,027	1	0,027	12,38	0,001
	błąd	0,147	68	0,002		
OPE	wyraz wolny	50,09	1	50,09	28571,9	0,000
	marka pojazdu	0,049	1	0,049	28,18	0,000
	błąd	0,112	64	0,002		

Źródło: oprac. własne.

Tab. 6. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
D	gotowość techniczna	OPE i PPE	0,000	0,001	0,058	0,811
I	gotowość techniczna	OPE i PPE	0,000	0,002	0,008	0,929

Źródło: oprac. własne.

Sprawdzono, że pierwsze 2 założenia analizy wariancji zostały spełnione, co oznacza, że zmienne są mierzalne i niezależne. Wyniki testu normalności potwierdzono zgodnie z rys. 4. Wartości prawdopodobieństw, dotyczące założenia jednorodności wariancji dla efektu klasyfikującego „okres eksploatacji”, podano w tab. 6 i 7. Analizując otrzymane dane, można zauważyć, iż dla wszystkich testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia

Tab. 7. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartletta	df	p
D	gotowość techniczna	marka pojazdu	1,319	0,569	0,662	1	0,416
I	gotowość techniczna	marka pojazdu	1,034	0,508	0,009	1	0,921

Źródło: oprac. własne.

Tab. 8. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Marka pojazdu	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	Stopnie swobody	MS	F	p
D	wyraz wolny	54,52	1	54,52	17793,30	0,000
	OPE i PPE	0,039	1	0,039	12,86	0,001
	błąd	0,215	70	0,003		
I	wyraz wolny	59,38	1	59,38	17622,55	0,000
	OPE i PPE	0,016	1	0,016	4,74	0,033
	błąd	0,236	70	0,003		

Źródło: oprac. własne.

hipotezy zerowej, $p > 0,05$. Założenie jednorodności wariancji zostało zatem spełnione.

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji, badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” na wynik gotowości technicznej pojazdów marki D oraz I. Z tab. 8 wynika, że poziom istotności p dla marki D oraz marki I jest mniejszy od założonego,

odpowiednio $p = 0,000$ oraz $p = 0,033$. Zatem należy odrzucić hipotezę zerową o równości średnich. Oznacza to istotną różnicę w gotowości technicznej pomiędzy 2 analizowanymi okresami eksploatacji dla autobusów marki D oraz I. Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rys. 6).

Podsumowanie

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań doświadczalnych gotowości technicznej autobusów, sformułowano następujące wnioski:

- badając wpływ czynnika „okres eksploatacji”, stwierdzono, że zarówno w przypadku autobusów marki D, jak i autobusów marki I, gotowość techniczna pomiędzy okresami ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej różniła się istotnie;
- w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej średnia gotowość techniczna autobusów D wyniosła $K_{g\text{sr}} = 0,894$, a autobusów I $K_{g\text{sr}} = 0,916$. Względna różnica średnich wyniosła 2,4%. W okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej średnia gotowość techniczna autobusów D wyniosła $K_{g\text{sr}} = 0,847$, a autobusów I $K_{g\text{sr}} = 0,895$. Względna różnica średnich wyniosła 5,5%;
- zaprezentowana w artykule metoda analizy gotowości technicznej z wyróżnieniem okresu pełnej i ograniczonej przydatności eksploatacyjnej może być wykorzystana do wyznaczenia racjonalnej granicy użytkowania pojazdu ze względu na kryterium niezawodności. Ma też znaczenie przy wyborze marki pojazdu w przypadku rozbudowy lub odnowy floty.

Bibliografia:

1. Apeland S., Aven T., Nilsen T., *Quantifying uncertainty under a predictive, epistemic approach to risk analysis*, „Reliability Engineering & System Safety” 2002, Vol. 75.
2. Dyr T., Misiurski P., *Prognozowanie kosztów utrzymania i eksploatacji taboru autobusowego*, „Problemy Transportu i Logistyki” 2016, nr 3 (35).
3. Dyr T., Rama P., *Strategia odnowy taboru MZK w Toruniu*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2014, nr 5.
4. Guihaire V., Hao J.-K. H., *Transit network design and scheduling: A global review*, „Transportation Research Part A: Policy and Practice” 2008, No. 4.
5. Kubalski J., Małek P., Mroczek K., *Komunikacja autobusowa, ekonomika i eksploatacja*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984.
6. Legutko S., *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2004.
7. Misiurski P., *Koszty eksploatacji taboru autobusowego w przedsiębiorstwach komunikacji samochodowej*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2012, nr 11.
8. Misra K. B., *Handbook of Reliability Engineering*, Springer Verlag, London 2003.
9. Niewczas A., Rymarz J., Dębicka E., *Stages of operating vehicles with respect to operational efficiency using city buses as an example*, „Eksplatacja i Niezawodność – Maintainance and Reliability” 2019, Vol. 21, No. 1.
10. Pham H., *Handbook of Reliability Engineering*, Springer Verlag, London 2003.
11. Piasecki S., *Zagadnienia użytkowania maszyn i środków transportowych*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 1995.
12. Rymarz J., Niewczas A., Krzyżak A., *Comparison of operational availability of public city buses by analysis of variance*,

„Eksplatacja i Niezawodność – Maintainance and Reliability” 2016, Vol. 18, No. 3.

13. Rymarz J., Stokłosa J., Niewczas A., *Wybrane problemy efektywności funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego*, „Logistyka” 2014, nr 3.
14. Stapelberg R. F., *Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design*, Springer Verlag, London 2009.
15. Szkoła M., *Assessment of Reliability, Availability and Maintainability of Rail Gauge Change Systems*, „Eksplatacja i Niezawodność – Maintainance and Reliability” 2014, Vol. 16, No. 3.
16. Woropay M., Szubartowski M., Migawa K., *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2013.
17. Zio E., *Reliability engineering: Old problems and new challenges*, „Reliability Engineering & System Safety” 2009, Vol. 94, No. 2.

Analysis of operational availability of public city buses in selected periods of use

The aim of the article is to compare the operational availability of the city buses. Two popular makes of buses were analysed in the function of time of use, during the six years of operation, in the Municipal Transport Company (MPK) in Lublin. A new division of operating time for the period of full operational usefulness and period of limited operational usefulness of vehicles was presented.

It was shown that the average operational availability of the analysed buses differed significantly due to the vehicle's make and also due to the service life. The ANOVA analysis method was used to assess the significance of differences.

Keywords: operational availability, public city buses, period of full operational usefulness, period of limited operational usefulness.

Autorzy:

dr inż. **Joanna Rymarz** – Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, Politechnika Lubelska
prof. dr hab. inż. **Andrzej Niewczas** – Instytut Transportu Samochodowego
dr **Ewa Dębicka** – Instytut Transportu Samochodowego

Andrzej Krzyszkowski Wyznaczanie cykli przeglądowo-naprawczych dla obiektów n-elementowych w transporcie	Andrzej Krzyszkowski Wyznaczanie cykli przeglądowo-naprawczych dla obiektów n-elementowych w transporcie ISBN 978-83-62805-27-3 Liczba stron: 130 Format: B5 Oprawa: twarda Rok wydania: 2017 Cena 34,00 zł (w tym 5% VAT)
Pełna oferta wydawnicza: www.inw-spatium.pl	