

## **Mgr inż. Joanna Rymarz**

Instytut Transport, Silników Spalinowych i Ekologii  
Politechnika Lubelska  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-816 Lublin, Polska  
e-mail: j.rymarz@pollub.pl

## **Prof. dr hab. inż. Andrzej Niewczas**

Instytut Transportu Samochodowego  
ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, Polska  
e-mail: andrzej.niewczas@its.waw.pl

## **Dr inż. Aneta Krzyżak**

Katedra Płatowca i Silnika  
Wydział Lotnictwa  
Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie  
ul. Dywizjonu 303 35, 08-521 Dęblin, Polska  
e-mail: a.krzyzak@wsosp.pl

### **Porównanie gotowości autobusów komunikacji miejskiej z zastosowaniem metody analizy wariancji**

**Słowa kluczowe:** autobusy komunikacji miejskiej, analiza wariancji, ANOVA, gotowość techniczna

**Abstrakt:** Celem pracy była analiza wpływu wybranych czynników gotowości technicznej autobusów komunikacji miejskiej na przykładzie autobusów marki Solaris i Mercedes-Benz w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym (MPK) w Lublinie. Przeprowadzono badania zmian gotowości technicznej w funkcji czasu użytkowania z podziałem na dwa okresy użytkowania: gwarancyjny i pogwarancyjny. Do sprawdzenia istotności różnic średnich wartości gotowości technicznej, w zależności od marki autobusów oraz w zależności od okresów eksploatacji zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Wykazano, że w okresie gwarancyjnym gotowość techniczna autobusów obu marek jest porównywalna, natomiast w okresie pogwarancyjnym jest istotnie różna, wyższa dla autobusu marki Mercedes. W rezultacie metoda ta może zostać użyta do programu inwestycyjnego podczas zakupu nowych pojazdów.

#### **1. Wstęp**

Problematyce badań gotowości autobusów poświęcono wiele prac badawczych. Przykładowo w pracy [3] przedstawiono ogólny zarys głównych strategii i technicznych kroków, jakie należy podjąć, aby prawidłowo zaprojektować optymalny system transportu miejskiego. Pojęcie gotowości technicznej, jako cechy systemu transportowego wykorzystywane jest do analizy tzw. systemów szybkiego reagowania w losowych chwilach użytkowania operacyjnego (t), np. siły lotnicze, pogotowie ratunkowe, straż pożarna, czy systemy transportu miejskiego [5]. Analiza gotowości różnych systemów była i jest przedmiotem wielu badań naukowych w ostatnich latach. Obecnie jest ona stosowana w wielu sektorach przemysłu, m.in. w sektorze lotniczym, zbrojeniowym, energetycznym czy transportowym. W pracy [5] autorzy przedstawiają możliwości zastosowania modelu RAM (Realibility, Avalability and

Maintainability) w praktyce przemysłowej w celu identyfikacji zawodnych urządzeń ze względu na częste awarie lub też wysokie wymagania w zakresie ich utrzymania.

W pracy [23] analizowany jest problem relacji pomiędzy gotowością, podatnością utrzymaniową środków transportu, a kosztami nieplanowanych przestojów i utrzymania pojazdu. Określony został model optymalnej realizacji przeglądów i usług technicznych z punktu widzenia kosztów, uwzględniając bieżące dane o uszkodzeniach pojazdu. W kolejnej pracy [19] przeprowadzono analizę kilku scenariuszy, badając niezawodność autobusów oraz system zmianowy pracowników zakładu naprawczego przedsiębiorstwa, aby zwiększyć gotowość pojazdów oraz zmniejszyć koszty całego systemu związane z jego zachwianiem, podczas występowania usterek w pojazdach. Model optymalizacji transportu miejskiego z uwzględnieniem projektowania tras przejazdu, doboru środków transportu oraz rozkładów jazdy został przedstawiony w pracach [28] i [18]. W pracy [24] przedstawiono metodę wyznaczania gotowości środków transportu, a w [10] wykorzystano teorię procesów semi-Markowa na przykładzie rzeczywistego systemu autobusowej komunikacji miejskiej. W pracy [2] zidentyfikowane zostały stany obiektów, a tym samym optymalny proces kontroli działania i obsługi tych obiektów na przykładzie silników autobusów miejskich.

Autorzy pracy [27] przedstawiają różne metody stosowane w celu oszacowania funkcjonalnej formy między jakością ogólną usług i ich zmiennych objaśniających, w tym ankiet związanych z satysfakcją klienta (dostępność, informacje, charakterystyki czasowe wykonywania usług, obsługę klienta, komfort, bezpieczeństwo, infrastrukturę i środowisko).

Wskaźnik gotowości technicznej używany był głównie do obliczenia niezawodności rozkładów jazdy autobusów i bieżącego monitorowania systemów transportowych, w szczególności punktualność pojazdów [3, 4, 26]. Jednak wskaźnik ten nie był często stosowany do kontroli systemów zarządzania jakością oraz eksploatacji danej marki pojazdu.

W systemie transportu miejskiego przedsiębiorstwo komunikacyjne powinno zapewnić stały monitoring procesu eksploatacji w aspekcie bieżącej gotowości użytkowanej floty pojazdów. Kierując się takim właśnie założeniem, autorzy niniejszego artykułu przeprowadzili badania gotowości technicznej autobusów wybranych marek w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym w Lublinie w okresie 6 lat ich użytkowania. Artykuł ten zawiera rozwinięcie dotychczasowych badań przedstawionych w pracach [16] i [17] dotyczących analizy gotowości technicznej i niezawodności autobusów. Ponadto artykuł [12] przedstawia wybrane aspekty funkcjonowania miejskiego systemu transportowego w Lublinie. Obecnie został rozszerzony okres badawczy próbki oraz wykonano jednoczynnikową analizę wariancji.

## 2. Gotowość techniczna autobusów miejskich i analiza ANOVA

Gotowość obiektu technicznego definiuje się jako prawdopodobieństwo znajdowania się obiektu w stanie zdatności [13]. Wskaźnik ten interpretowany jest jako prawdopodobieństwo zdolności do podjęcia pracy w określonym czasie [9, 20]. Znajdowanie się systemu w stanie gotowości oznacza, że system nie jest wyłączony z eksploatacji z powodu obsługi utrzymania profilaktycznego oraz nie znajduje się w stanie niezdatności z powodu uszkodzenia. Gotowość zależy zatem nie tylko od przestojów związanych z utrzymaniem, ale zależy również od prawdopodobieństwa niewykonania przez system przypisanych mu funkcji (efekt uszkadzalności) [21]. Celem skutecznego utrzymania jest minimalizowanie czasu nieplanowanych przestojów systemu (Mean Down Time MDT) i związanych z tym kosztów [29]. Na podstawie literatury [3, 24, 13, 20, 25] oraz materiałów zebranych w MPK w Lublinie przyjęto w niniejszej pracy, iż gotowość techniczna będzie definiowana według następującego wzoru:

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

gdzie:

$N_z$  – liczba obiektów technicznych zdalnych w danym okresie eksploatacji w rozpatrywanym systemie transportowym

$N_n$  – liczba obiektów technicznych 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.

W artykule została przedstawiona analiza wariancji dla gotowości systemu technicznego. Metoda analizy wariancji (Analysis of Variance – ANOVA) została zapoczątkowana przez Fishera w latach dwudziestych XX w [11, 22]. Metoda ta pozwala ocenić wpływ niezależnego czynnika klasyfikującego  $x_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) na rozkład zmiennej zależnej  $y$ . Analiza ta pozwala stwierdzić, czy wartości średnie zmiennej  $y$  dla wielu prób są porównywalne. Analiza wariancji jest używana przez wielu autorów głównie jako analiza uzupełniająca, m.in. [1, 7, 15].

Na podstawie wyników obliczeń należy zweryfikować hipotezę zerową o równości wartości średnich zmiennej zależnej dla wszystkich  $k$  poziomów czynnika klasyfikującego:

$$H_0: \bar{y}_1 = \bar{y}_2 = \dots = \bar{y}_k \quad (2)$$

gdzie:  $\bar{y}_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ), oznacza wartość średnią zmiennej objaśnianej dla  $k$ -tego poziomu czynnika;

Hipoteza alternatywna  $H_1$  mówi, że przynajmniej dwie spośród średnich  $y_1, \dots, y_k$  są różne:

$$H_1: y_k \neq y_k \quad (3)$$

Metoda ANOVA jednoczynnikowa jest stosowana wobec sprawdzenia statystycznej istotności między niezależnymi grupami, w oparciu o różnice wariancji pomiędzy grupami lub w obrębie grup. W pracy zastosowano analizę wariancji między grupami MS Effect w oparciu o poniższe równania dotyczące sumy kwadratów (sum of squares) [25]:

$$SS_{cała} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (4)$$

$$SS_{międz} = n \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

$$SS_{wew} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (6)$$

Stopień swobody DF (degree of freedom) między grupami jest równy liczbie grup pomniejszony o jeden. Wewnątrz grup jest równy liczbie obserwacji pomniejszonych o liczbę grup. Natomiast wariancja MS jest równa ilorazowi sumy kwadratów przez (i) stopni swobody. Przy czym test wariancji opiera się na wyznaczeniu statystyki  $F = SS_{międz} / SS_{wew}$ . Im większa jest statystyka  $F$ , tym większy wpływ ma dany czynnik.

Podstawowymi założeniami analizy wariancji są:

- mierzalność zmiennych zależnych na skali ilościowej;
- niezależność zmiennych losowych w analizowanych grupach;
- normalność rozkładu zmiennej zależnej dla każdego z czynników;
- jednorodność wariancji  $\sigma_1^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma$  dla każdego z czynników.

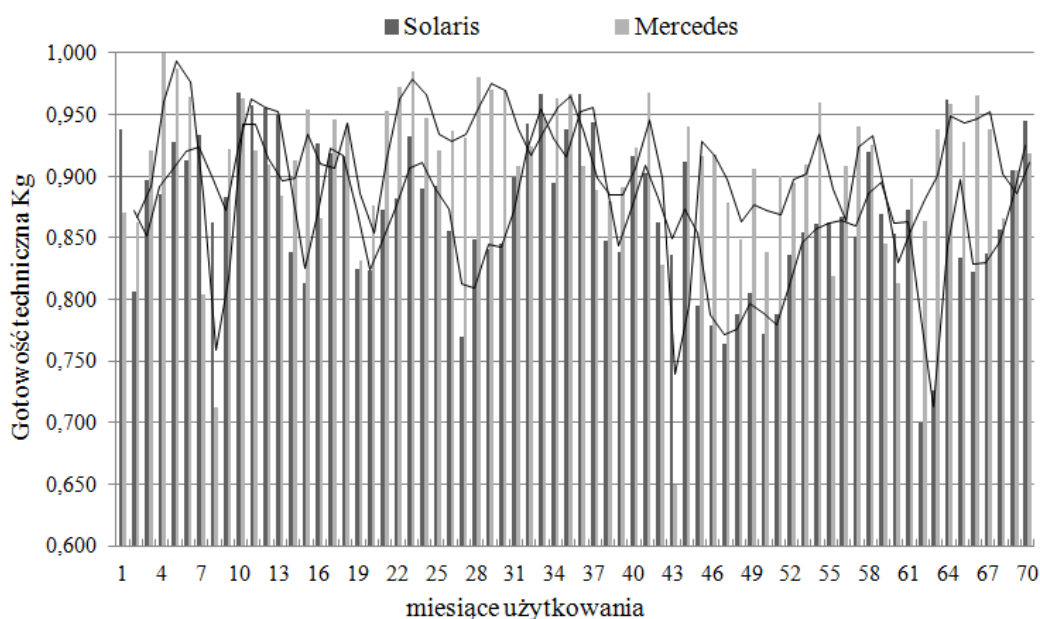
W celu weryfikacji założenia o normalności rozkładu zmiennej zależnej można posłużyć się jednym z testów statystycznych:  $\chi^2$ , Shapiro-Wilka, Lillieforsa lub w sposób przybliżony korzystając z wykresu kwantylowego [8]. W celu weryfikacji założenia o jednorodności wariancji można posłużyć się jednym z testów statystycznych: *Levene'a*, *Barletta*, *Levena*, *Cochrana*. *Test Levene'a* jest bardziej odporny na odstępstwa od normalności rozkładu wyników, niemniej jednak *test Bartletta* działa lepiej, gdy spełnione jest kryterium o normalności rozkładu wyników.

### 3. Przebieg badań

Do badań wybrano 22 autobusy marki Mercedes Benz 628 oraz 20 autobusów Solaris Urbino 12. Wszystkie pojazdy były obserwowane od pierwszego dnia użytkowania. Początkowy przebieg eksploatacyjny był niewielki i porównywalny dla obu marek pojazdów. Badania prowadzone były w naturalnych warunkach komunikacji miejskiej, w okresie 6 lat eksploatacji (2008-2014). Gotowość techniczną rejestrowano w okresie czasu kalendarzowego od 1 do 72 miesiąca. Odpowiadało to łącznym przebiegom eksploatacyjnym równym odpowiednio 7,73 mln km dla wszystkich dwudziestu autobusów marki Solaris i 7,29 mln km dla dwudziestu dwóch autobusów marki Mercedes. Średni miesięczny przebieg z 72 miesięcy użytkowania 1 pojazdu wyniósł 6096 km dla autobusu Solaris i 6464 km dla autobusu Mercedes.

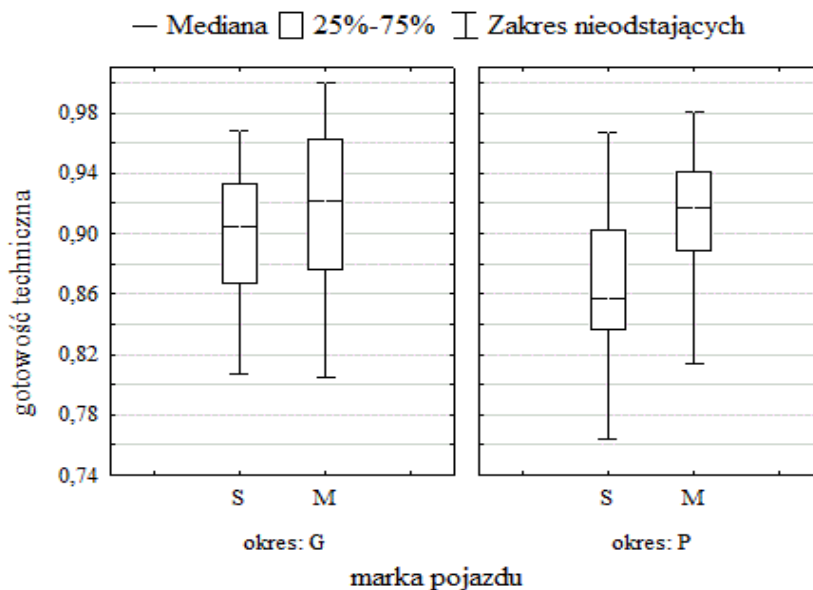
### 4. Wyniki badań empirycznych

Wskaźniki gotowości technicznej autobusów marki Solaris i Mercedes-Benz w zależności od czasu kalendarzowego w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym przedstawiono na rysunku 1. W pierwszym okresie eksploatacji (gwarancyjnym) tj. do ok. 20 miesiąca, gotowość pojazdów marki Solaris wynosi średnio 0,897. Następnie wskaźnik ten maleje, osiągając w 62 miesiącu wartość minimalną 0,700. Średnia gotowość techniczna dla całego okresu badań wyniosła 0,870 dla autobusów Solaris i 0,908 dla autobusów Mercedes Benz. Średnia gotowość autobusów Mercedes była wyższa zaledwie o 3,8% i wyniosła 0,909, przy odchyleniu standardowym równym 0,059. Czynniki związane z kosztami eksploatacji autobusów, w szczególności kosztami płynów eksploatacyjnych, kosztami napraw i obsług zostały szczegółowo zaprezentowane w pracy [6].



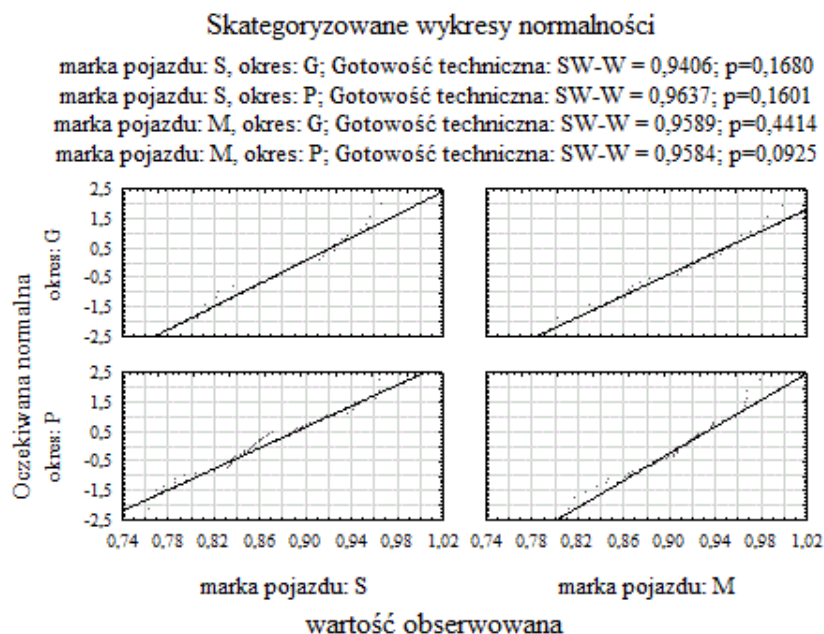
Rysunek 1. Gotowość techniczna Kg autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym

Sprawdzono czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączone z dalszych obliczeń. Wyniki badań gotowości technicznej zebrane w grupy przyporządkowane okresowi gwarancyjnemu (1-24 miesiące) i okresowi pogwarancyjnemu (25-72 miesiące) przedstawiono na rysunku 2. W celu sprawdzenia istotności różnic średniej gotowości technicznej obydwu badanych marek przeprowadzono test jednoczynnikowej analizy wariancji.



Rysunek 2. Wykres ramka – wąsy zmiennej zależnej – gotowość dla autobusów (S-Solaris, M-Mercedes) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Czynniki takie jak marka autobusów oraz okres eksploatacji gwarancyjny i pogwarancyjny są od siebie niezależne. Współczynnik Kg jest mierzalny. Normalność rozkładu (trzecie założenie) w rozpatrywanych grupach danych sprawdzono, tworząc skategoryzowane wykresy normalności dla każdej z grup (marek pojazdu). Ponieważ według testu W Shapiro – Wilka poziom istotności we wszystkich czterech przypadkach jest większy,  $p > \alpha = 0,05$ , zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej ( $H_0$ ) o normalności rozkładu wartości gotowości technicznej pojazdów (rys. 3).



Rysunek 3. Skategoryzowane wykresy normalności dla okresu gwarancyjnego (G) i pogwarancyjnego (P)

Następnie sprawdzono czwarte założenie o jednorodności wariancji. W tabelach 1 oraz 2 przedstawiono wartość prawdopodobieństw tych testów dla efektu klasyfikującego jakim jest

marka pojazdu z podziałem na okresy: gwarancyjny i pogwarancyjny. Analizując otrzymane dane przy pomocy dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej w obu analizowanych okresach eksploatacji pojazdów. Można zatem stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji jest spełnione we wszystkich czterech przypadkach.

Tabela 1. Wyniki testu Levene'a dla okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05000$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
gwarancyjny	gotowość techniczna	marka pojazdu	0,000033	0,000769	0,042284	0,838007
pogwarancyjny			0,001888	0,000888	2,124979	0,148357

Tabela 2. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochрана dla okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego

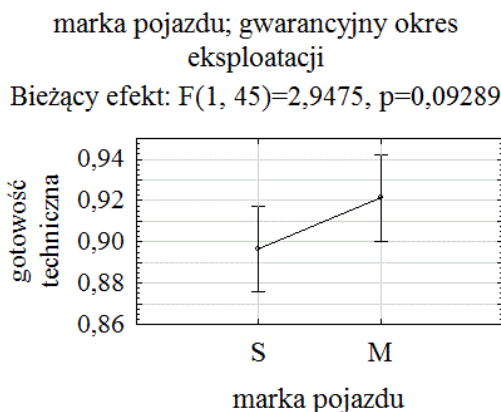
Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
gwarancyjny	gotowość techniczna	marka pojazdu	1,1540	0,5357	0,1129	1	0,7369
pogwarancyjny			1,6325	0,6201	2,6802	1	0,1016

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika - marka pojazdu na wynik gotowości technicznej pojazdów w okresie czasu eksploatacji: gwarancyjnym i pogwarancyjnym. Z danych zawartych w tabeli 3 wynika, że poziom istotności  $p$  dla marki pojazdu w okresie gwarancyjnym jest większy od 0,05, czyli  $p = 0,0929$ , zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej ( $H_0$ ), a to oznacza, że średnia gotowość techniczna w okresie gwarancyjnym dla autobusów obu analizowanych marek nie różni się istotnie. Prawdopodobieństwo, że  $F = 22,58$  w okresie pogwarancyjnym wynosi  $p = 0,0000$ . Oznacza to, że przy statystyce testowej przyjętej na poziomie  $p = 0,05$ , należy odrzucić hipotezę zerową ( $H_0$ ) i przyjąć hipotezę alternatywną ( $H_1$ ) o istotnym statystycznie zróżnicowaniu średnich w poszczególnych grupach w okresie pogwarancyjnym. Można zatem stwierdzić, że dla okresu pogwarancyjnego wielkość gotowości technicznej jest istotnie zróżnicowana w przypadku obu analizowanych marek pojazdów.

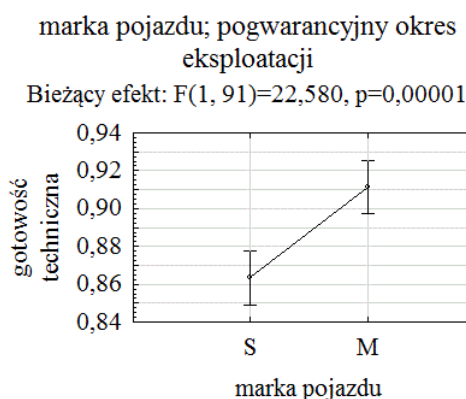
Tabela 3. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji dla okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego

Okres eksploatacji	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	Stopnie swobody	MS	F	p
gwarancyjny	wyraz wolny	38,805	1	38,805	15498,3	0,0000
	marka pojazdu	0,007	1	0,0074	2,95	0,0929
	błąd	0,1127	45	0,0025	-	-
pogwarancyjny	wyraz wolny	73,22	1	73,22	30934	0,0000
	marka pojazdu	0,053	1	0,0534	22,58	0,0000
	błąd	0,215	91	0,0024	-	-

Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rys. 4 i 5). Na wykresach przedstawiono przedziały ufności na poziomie 95% oraz średnie gotowości dla analizowanych okresów eksploatacji. Średnia gotowość autobusów Mercedes w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym jest wyższa niż w przypadku autobusów Solaris i wynosi odpowiednio o 2,5% i 4,8% więcej dla danego okresu eksploatacji.



Rysunek 4. Wykres interakcji gotowości technicznej w okresie gwarancyjnym autobusów Solaris (S) i Mercedes (M)



Rysunek 5. Wykres interakcji gotowości technicznej w okresie pogwarancyjnym autobusów Solaris (S) i Mercedes (M)

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres gwarancyjny i pogwarancyjny. Wyniki testu normalności są zgodne z wynikami zaprezentowanymi na rysunku 3. W tabelach 4 oraz 5 zestawiono wartości prawdopodobieństw testów założeń jednorodności wariancji dla efektu klasyfikującego „okres eksploatacji”. Analizując otrzymane dane przy pomocy dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej,  $p>0,05$ . Założenie jednorodności wariancji jest zatem spełnione we wszystkich czterech przypadkach.

Tabela 4. Wyniki testu Levene'a dla czynnika „okres eksploatacji”

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
Solaris	gotowość techniczna	okres gwarancyjny	0,0001	0,0009	0,0941	0,7600
Mercedes		i pogwarancyjny	0,0011	0,0007	1,4371	0,2348

Tabela 5. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na dla czynnika „okres eksploatacji”

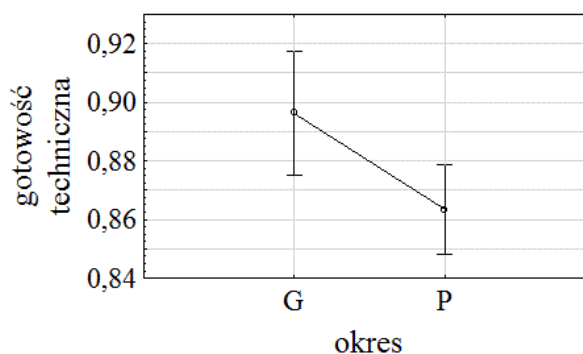
Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochra na	Bartlett	df	p
Solaris	gotowość techniczna	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	1,2641	0,5583	0,3999	1	0,5271
Mercedes			1,4903	0,5984	1,2134	1	0,2707

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” na wynik gotowości technicznej pojazdów marki Solaris i Mercedes. Poziom istotności  $p$  dla marki Solaris jest mniejszy od założonego, czyli  $p=0,0148$ , zatem należy odrzucić hipotezę zerową o równości średnich (tab. 6). Oznacza to istotną różnicę w gotowości technicznej autobusów Solaris okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego. Dla marki Mercedes  $p$  jest większe od założonego, czyli  $p=0,3902$ , zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Średnia gotowość techniczna autobusu Mercedes w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym nie różni się istotnie. Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rys. 6, 7).

Tabela 6. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji dla czynnika „okres eksploatacji”

Marka pojazdu	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna				
		SS	Stopnie swobody	MS	F	p
Solaris	wyraz wolny	48,84	1	48,84	17853,6	0,0000
	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	0,0171	1	0,0171	6,26	0,0148
	błąd	0,1860	68	0,0027		
Mercedes	wyraz wolny	51,87	1	51,87	24829,5	0,0000
	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	0,0016	1	0,0016	0,75	0,3902
	błąd	0,1421	68	0,0021		

Okres eksploatacji dla autobusów Solaris  
Bieżący efekt:  $F(1, 68)=6,2560$ ,  $p=0,01479$

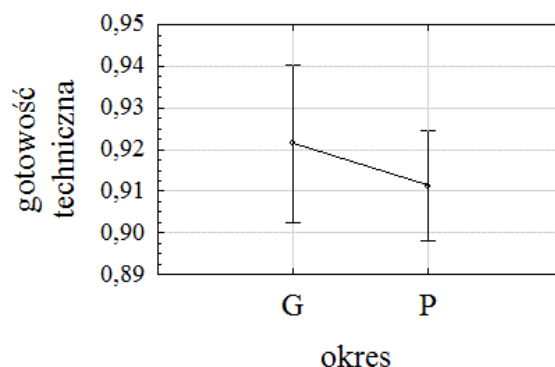


Rysunek 6. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” - gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusu marki Solaris



### Okres eksploatacji dla autobusów Mercedes

Bieżący efekt:  $F(1, 68)=0,74797$ ,  $p=0,39016$



Rysunek 7. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” - gwarancyjny i pogwarancyjny autobusu marki Mercedes

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Średnia gotowość techniczna autobusu Mercedes w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym nie różni się istotnie, natomiast średnia gotowość techniczna autobusu Solaris w analizowanym okresie różni się istotnie.
2. W okresie gwarancyjnym średnia gotowość techniczna autobusów marki Solaris wyniosła 0,896, a autobusów marki Mercedes 0,913. Względna różnica średnich wyniosła 1,7%. Wykazano, posługując się testami Hartleya, Bartletta i Cochrańa oraz Levene'a, że różnica ta jest statystycznie nieistotna.
3. W okresie pogwarancyjnym średnia gotowość techniczna autobusów marki Solaris wyniosła 0,857, a autobusów marki Mercedes 0,906. Względna różnica średnich wyniosła 4,9%. Wykazano, posługując się testami Hartleya, Bartletta i Cochrańa oraz Levene'a, że różnica ta jest statystycznie istotna.
4. Taka analiza gotowości technicznej z wyróżnieniem okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego pozwala na wykorzystanie tego wskaźnika przy ocenie przydatności jakości eksploatacyjnej. To ma duże znaczenie przy wyborze marki pojazdu w związku z zakupem nowych autobusów.

## Bibliografia

1. Caro, E., Arévalob, I., García-Martosa, C., Conejoc, A.J.: Power system observability via optimization. *Electric Power Systems Research* 2013; 104, 207–215.
2. Grądzki, R., Lindstedt, P.: Method of assessment of technical object aptitude in environment of exploitation and service conditions. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2015; 17(1): 54–63.
3. Guihaire, V., Hao, J.K.H.: Transit network design and scheduling: A global review. *Transportation Research Part A*. 2008; 42: 1251–1273.
4. Guihaire, V., Hao, J.K.H.: Transit network timetabling and vehicle assignment for regulating authorities. *Computers & Industrial Engineering* 2010; 59: 16–23.
5. Herder, P.M., van Luijk, J.A., Bruijnooge, J.: Industrial application of RAM modeling development and implementation of a RAM simulation model for the Lexan plant at GE Industrial. *Reliability Engineering & System Safety* 2008; 93: 501–508.

6. Ignaciuk, P., Rymarz, J., Niewczas, A.: Effectiveness of the failure rate on maintenance costs of the city buses. *Journal of KONBiN* 2015; 3(35): 99–108.
7. Kadiyala, A., Kumar, A.: Development and application of a methodology to identify and rank the important factors affecting in-vehicle particulate matter. *Journal of Hazardous Materials* 2013; 213-214: 140–146.
8. Koronacki, J., Mielniczuk, J. *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, 2001.
9. Legutko, S. *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 2004.
10. Migawa, K.: Semi-Markov model of the availability of the means of municipal transport system. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance* 2009; 3(159): 25–34.
11. Misra, K.B. *Red. Handbook of Reliability Engineering*. London: Springer Verlag, 2008.
12. Niewczas, A., Koszałka, G., Wrona, J., Pieniak, D.: Chosen aspects of municipal transport operation on the example of the city of Lublin. *Transport* 2008; 23(1): 88–90.
13. Pham, H. *Handbook of Reliability Engineering*. London: Springer Verlag, 2003.
14. Piasecki, S. *Zagadnienia użytkowania maszyn i środków transportowych*. Lublin: Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 1995.
15. Portela, S.B., Queiroga, R.M., Constantini, A., Zannin, H.T.P.: Annoyance evaluation and the effect of noise on the health of bus drivers. *Noise Health* 2013; 15(66): 301–306.
16. Rymarz, J., Niewczas, A., Pieniak, D.: Reliability analysis of the selected brands of city buses at municipal transport company. *J. Konbin* 2013; 26(1): 111–122.
17. Rymarz, J., Niewczas, A.: Ocena gotowości technicznej autobusów komunikacji miejskiej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. *Czasopismo Techniczne* 2013; 9(109): 195–200.
18. Sanchez, S.A.: Optimizing performance-based mechanisms in road management: An agency theory approach. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 2015; 15(4): 465–481.
19. Savsar, M.: Modeling and simulation of maintenance operations at Kuwait public transport company. *Kuwait Journal of Science* 2013; 40(2): 115–129.
20. Stapelberg, R.F. *Red. Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design*. London: Springer Verlag, 2009.
21. Szkoła, M.: Assessment of Reliability, Availability and Maintainability of Rail Gauge Change Systems. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16(3): 422–432.
22. Walesiak, M., Gatnar, E. *Statystyczna analiza danych z wykorzystaniem programu R*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
23. Wolde, M., Ghobbar, A.A.: Optimizing inspection intervals - Reliability and availability in terms of a cost model: A case study on railway carriers. *Reliability Engineering & System Safety* 2013; 114: 137–147.
24. Woropay, M., Szubartowski, M., Migawa, K. *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym*. Radom: Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, 2013.
25. Woropay, M., Żurek, J., Migawa, K. *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym*. Radom: Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, 2003.
26. Xuan, Y., Argote, J., Daganzo, C. F.: Dynamic bus holding strategies for schedule reliability: Optimal linear control and performance analysis. *Transport Research Part B* 2011; 45: 1831–1845.

27. Yatskiv, I., Pticina, I., Savrasovs, M.: Urban public transport system's reliability estimation using microscopic simulation. *Transport Telecommunication* 2012; 13(3): 219–228.
28. Zhao, F., Zeng, X.: Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks. *European Journal of Operational Research* 2008; 186: 841–855.
29. Zio, E.: Reliability engineering: Old problems and new challenges. *Reliability Engineering and System Safety* 2009; 94(2): 125–141.