



Joanna Rymarz

Badania efektywności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej



Lublin 2021

M
O
N
O
G
R
A
F
I
E

Badania efektywności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Joanna Rymarz

Badania efektywności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej



Wydawnictwo
Politechniki Lubelskiej

Lublin 2021

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Marcin Ślęzak

dr hab. Agnieszka Tubis, prof. Politechniki Wrocławskiej

Wydanie monografii zostało sfinansowane z Projektu Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na podstawie umowy nr 030/RID/2018/19

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2021

ISBN: 978-83-7947-491-2

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59

Druk: Soft Vision Mariusz Rajski
www.printone.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	7
ABSTRACT	8
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I SYMBOLI	9
1. WPROWADZENIE	12
2. SYSTEM EKSPLOATACJI AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	14
3. EFEKTYWNOŚĆ EKSPLOATACYJNA AUTOBUSÓW	20
3.1. Definicja efektywności eksploatacyjnej obiektów technicznych	20
3.2. Metody wymiarowania efektywności eksploatacyjnej pojazdów	23
4. MODEL EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ	30
5. METODA BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH	34
5.1. Miejski transport autobusowy w Lublinie	34
5.2. Obiekt badań	38
5.3. System zbierania informacji	43
5.4. Metodyka analizy wyników	45
5.4.1. Analiza wariancji	45
5.4.2. Analiza niezawodności	49
6. WYNIKI BADAŃ	51
6.1. Przebieg badań	51
6.2. Gotowość techniczna.....	53
6.2.1. Metodyka obliczeń gotowości technicznej	53
6.2.2. Charakterystyki gotowości technicznej w funkcji czasu użytkowania.....	54
6.2.3. Porównanie autobusów – analiza wariancji	58
6.2.4. Podsumowanie analizy gotowości	71
6.3. Koszty eksploatacji	73
6.3.1. Charakterystyka ogólna kosztów eksploatacji	73
6.3.2. Charakterystyka kosztów użytkowania.....	75
6.3.3. Charakterystyka kosztów obsługi	79
6.3.4. Charakterystyki kosztów napraw	83
6.3.5. Porównanie kosztów napraw – analiza wariancji	88

6.3.6. Podsumowanie analizy kosztów	102
6.4. Niezawodność autobusów	104
6.4.1. Charakterystyki niezawodności autobusów	104
6.4.2. Charakterystyki niezawodności układów i elementów konstrukcyjnych...	107
6.4.3. Podsumowanie oceny niezawodności	122
7. DYSKUSJA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ	
AUTOBUSÓW	124
7.1. Wskaźniki przychodów	124
7.2. Porównanie efektywności eksploatacyjnej autobusów	128
7.3. Analiza statystyczna efektywności eksploatacyjnej	133
7.4. Podsumowanie analizy efektywności	147
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	149
9. BIBLIOGRAFIA	151
10. ZAŁĄCZNIKI	157
Załącznik nr 1	157
Załącznik nr 2	158
Załącznik nr 3	159
Załącznik nr 4	163
Załącznik nr 5	165
Załącznik nr 6	168

BADANIA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

STRESZCZENIE

Niniejsza praca, dotyczy opracowania modelu oceny efektywności autobusów miejskich z punktu widzenia przedsiębiorstwa transportowego. W pracy przeanalizowano współczesną literaturę poświęconą zagadnieniom oceny przydatności eksploatacyjnej i efektywności eksploatacji pojazdów samochodowych. Zaprezentowane zostały podstawowe definicje dotyczące systemu eksploatacji i warunków eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej. Przedstawiono autorski model oceny procesu eksploatacji autobusów miejskich. Opisano metodykę i wyniki badań własnych dotyczących efektywności eksploatacyjnej autobusów dwóch wybranych marek. Badania te przeprowadzono w warunkach rzeczywistych w okresie 6 lat użytkowania na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. Do analizy wyników wykorzystano metody analizy statystycznej. Przeprowadzono analizę gotowości technicznej oraz kosztów eksploatacji. Zweryfikowano istotność różnic między badanymi markami autobusów oraz między charakterystycznymi okresami ich eksploatacji, okresami gwarancyjnym i pogwarancyjnym oraz okresami ograniczonej przydatności eksploatacyjnej i pełnej przydatności eksploatacyjnej. Wyznaczono również wskaźniki niezawodności charakteryzujące przebiegi autobusów między uszkodzeniami. Doświadczalnie zweryfikowano oraz uzasadniono autorski model oceny efektywności eksploatacji autobusów.

Słowa kluczowe: autobusy miejskie, efektywność, eksploatacja pojazdów, niezawodność pojazdów, model oceny eksploatacji, transport miejski, gotowość pojazdów, okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej, okres pełnej przydatności eksploatacyjnej.

MAINTENANCE EFFICIENCY STUDIES OF PUBLIC TRANSPORT BUSES

ABSTRACT

This paper, deals with the development of a model for assessing the efficiency of city buses from the point of view of a transport company. The paper reviews current literature on the issues of assessing maintenance availability and maintenance efficiency of vehicles. Basic definitions of operation system and operating conditions of city buses were presented. In addition to this, an original method for assessing maintenance of city buses was presented. The paper describes the applied methodology and reports the results of maintenance efficiency of city buses for two selected makes of bus. The studies were conducted for six years in real conditions at Municipal Transport Company Lublin Ltd. (MPK Lublin). The methods of statistical analysis were used to analyze the results. The analysis involves examination of technical availability and maintenance costs. The significance of differences between the examined bus makes and between the characteristic periods of their operation time, warranty and post-warranty periods as well as periods of limited and full exploitation maintenance was verified. Moreover, reliability indicators of bus mileage between damages were determined. Finally, the author's model of assessing maintenance effectiveness of buses was experimentally verified and grounded.

Keywords: city buses, efficiency, vehicle maintenance, vehicle reliability, maintenance assessment model, urban transport, vehicle availability, limited exploitation maintenance, full exploitation maintenance.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW I SYMBOLI

C_{PALsum}^{cal}	Sumaryczny koszt zużytego paliwa w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{PALsr}^{cal}	Średni miesięczny koszt zużytego paliwa w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{OGsum}^{ca}	Sumaryczny koszt ogumienia w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{OGsr}^{cal}	Średni miesięczny koszt ogumienia w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{PEsum}^{ca}	Sumaryczny koszt zużytych płynów eksploatacyjnych w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{PEsr}^{cal}	Średni miesięczny koszt zużytych płynów eksploatacyjnych w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{Osum}^{ca}	Sumaryczny koszt obsługi technicznych w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{Osr}^{cal}	Średni miesięczny koszt obsługi technicznych w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{Nsum}^{ca}	Sumaryczny koszt napraw w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_{Nsr}^{cal}	Średni miesięczny koszt napraw w całkowitym badanym przedziale czasu „cał”/1 autobus [zł]
C_O^M	Skumulowane koszty obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]
C_{Osr}^M	Średni miesięczny koszt obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]
C_{Osr}^R	Średni miesięczny koszt obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym „R”/1 autobus [zł]
$C_{Osr}^{G/P}$	Średni miesięczny koszt obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym „G” i pogwarancyjnym „P”/1 autobus [zł]
$C_{Osr}^{OPE/PPE}$	Średni miesięczny koszt obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/1 autobus [zł]
C_{Nsr}^M	Średni miesięczny koszt napraw w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]
C_N^M	Skumulowane koszty napraw w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]

C_{Nsr}^R	Średni miesięczny koszt napraw w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym „R”/1 autobus [zł]
$C_{Nsr}^{G/P}$	Średni miesięczny koszt napraw w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym „G” i pogwarancyjnym „P”/1 autobus [zł]
$C_{Nsr}^{OPE/PPE}$	Średni miesięczny koszt napraw w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/1 autobus [zł]
E_{eksr}^M	Średnia miesięczna efektywność eksploatacji w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [-]
E_{ek}^R	Średnia miesięczna efektywność eksploatacji w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym „R”/1 autobus [-]
$E_{ek}^{G/P}$	Średnia miesięczna efektywność eksploatacji w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym „G” i pogwarancyjnym „P”/1 autobus [-]
$E_{ek}^{OPE/PPE}$	Średnia miesięczna efektywność eksploatacji w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/1 autobus [-]
$g_{sr}^{G,P}$	Średnie zużycie paliwa w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym/100 km x 1 autobus [l/100km]
$g_{sr}^{OPE,PPE}$	Średnie zużycie paliwa w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/100 km x 1 autobus [l/100km]
K_{gsr}^M	Średnia miesięczna gotowość techniczna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M” [-]
K_{gsr}^R	Średnia miesięczna gotowość techniczna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym „R” [-]
$K_{gsr}^{G/P}$	średni miesięczny wskaźnik gotowości technicznej w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym „G” i pogwarancyjnym „P”/1 autobus [-]
$K_{gsr}^{OPE/PPE}$	średni miesięczny wskaźnik gotowości technicznej w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/1 autobus [-]
L_B	Sumaryczny przebieg M obiektów w okresie badań [km]
l_{sr}	Średni przebieg M-tego obiektu w chwili rozpoczęcia badań [km]

L_{min}	Minimalna wartość przebiegu M-tego obiektu w chwili rozpoczęcia badań [km]
L_{max}	Maksymalna wartość przebiegu M-tego obiektu w chwili rozpoczęcia badań [km]
M	Liczba pojazdów danej marki
n	Liczba miesięcy w analizowanym okresie eksploatacyjnym
n_p	Początkowy miesiąc użytkowania w analizowanym okresie eksploatacyjnym
n_k	Końcowy miesiąc użytkowania w analizowanym okresie eksploatacyjnym
P_{RZsr}^M	Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]
P_{RZ}^M	Skumulowany przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym „M”/1 autobus [zł]
P_{RZsr}^R	Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym „R”/1 autobus [zł]
$P_{RZsr}^{G/P}$	Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym „G” i pogwarancyjnym „P”/1 autobus [zł]
$P_{RZsr}^{OPE/PPE}$	Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, i pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”/1 autobus [zł]
$R^*(t)$	Funkcja niezawodności
T_B	Całkowity czas badań M obiektów

1. WPROWADZENIE

Kluczowym składnikiem społecznych potrzeb transportowych są przewozy ludzi na terenach dużych aglomeracji miejskich. Zadania te realizowane są przez wyspecjalizowane systemy transportu miejskiego. W tym obszarze szczególnie ważne są: właściwa organizacja zarządzania realizacją zadań przewozowych oraz zapewnienie niezawodnej infrastruktury i środków transportu.

Głównym celem systemów transportu publicznego jest realizacja przewozów na danym obszarze i po określonych trasach. Usprawnienia związane z niezawodnością środków transportu przynoszą korzyść nie tylko ich użytkownikom, ale i samym przewoźnikom, ponieważ poprawnie wykonane usługi skracają czas oczekiwania pasażerów na przystankach i pozwalają przewoźnikowi na efektywniejsze użycie pojazdów. Przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej poświęcają dużo wysiłku, aby zapewnić jak najwyższy poziom niezawodności użytkowanych pojazdów oraz wysoką jakość świadczonych usług transportowych.

Możliwość prawidłowej i efektywnej realizacji zadań przewozowych środków transportu w istotny sposób zależy od poziomu ich gotowości i naprawialności [110].

Wzrost jakości wykonywanych napraw powoduje zwiększenie przebiegów między uszkodzeniami [2]. Porównywalnie, skrócenie czasu naprawy wpływa na zwiększenie poziomu gotowości środków transportu [77]. W każdym przypadku priorytetem jest zatem, jak największe wykorzystanie zdolności przewozowej [49].

Pomimo obszernej literatury opisującej wyniki badań związanych z oceną efektywności transportu miejskiego, wciąż nie jest opracowana jednolita metodologia jej oceny. Wyróżnić tu można dwa główne nurty. Pierwszy prezentuje podejście czysto ekonomiczne i opiera się na wskaźnikach kosztów i przychodów. Drugi natomiast prezentuje podejście techniczne i albo pomija aspekty ekonomiczne, albo włącza dodatkowe wskaźniki [85]. Wskaźniki te jednak wprowadzane są w sposób niespójny, co utrudnia prawidłowe podejmowanie decyzji. Problematyka ta stanowi zatem uzasadniony temat do podejmowania nowych badań. Typowe modele niezawodnościowe systemów transportowych, bazują na założeniu, że wszelkie procesy eksploatacyjne realizowane są bez zakłóceń. W rezultacie, w analizie efektywności eksploatacyjnej nie jest uwzględniany wpływ poziomu uszkodzalności obiektów na realizowane procesy podstawowe, a tym samym na efektywność systemu transportowego. Ponadto, przeprowadzane analizy są niepełne z powodu braku oceny wpływu relacji występujących pomiędzy uzyskiwanym przychodem skorelowanym z gotowością i niezawodnością pojazdów, a kosztami napraw generowanymi przez te pojazdy.

Z tego też powodu występuje potrzeba prowadzenia badań nad opracowaniem modelu efektywności. W obszarze eksploatacji autobusów miejskich powinny być uwzględnione równocześnie czynniki techniczne i ekonomiczne [69]. W szczególności należy zapewnić wysoką gotowość i niezawodność pojazdów.

Niniejsza praca, dotyczy opracowania systemu modelu oceny efektywności eksploatacyjnej autobusów miejskich na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. Praca składa się z sześciu rozdziałów. W pierwszym i drugim rozdziale przeanalizowano dostępną literaturę. Przedstawione zostały podstawowe definicje dotyczące systemu eksploatacji i warunki eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej. Analiza literatury pozwoliła na opracowanie modelu efektywności eksploatacyjnej autobusów użytkowanych w systemie transportu miejskiego.

W rozdziale trzecim została przedstawiona koncepcja modelu systemu oceny procesu eksploatacji autobusów miejskich. W autorskim modelu efektywność eksploatacji wyznaczona jest, jako wynik odniesienia przychodu rzeczywistego (uwarunkowanego gotowością techniczną pojazdów) do kosztów napraw spowodowanych uszkodzeniami eksploatacyjnymi.

W rozdziale czwartym został przedstawiony ogólny opis badanych autobusów, jak również potencjał przewozowy i organizację transportu autobusowego w Lublinie oraz system zbierania i przetwarzania informacji. Opisano również metodykę matematycznego opracowania wyników badań.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań autobusów w warunkach rzeczywistej ich eksploatacji w MPK Lublin. Wykonano analizę gotowości technicznej oraz kosztów eksploatacji, z podziałem na koszty użytkowania, obsługi oraz naprawy. Została wykonana analiza wariancji wyników tych badań w celu oceny istotności różnic między badanymi markami autobusów oraz między charakterystycznymi okresami ich eksploatacji: okresów miesięcznych, rocznych, okresów gwarancyjnego i pogwarancyjnego oraz okresów ograniczonej i nieograniczonej przydatności eksploatacyjnej. Wyznaczono również wskaźniki niezawodnościowe charakteryzujące przebiegi między uszkodzeniami autobusów. Przedstawiono funkcję niezawodności całego pojazdu oraz poszczególnych jego układów konstrukcyjnych.

Rozdział szósty poświęcono doświadczalnej weryfikacji oraz ocenie opracowanego modelu efektywności eksploatacji autobusów. Opierając się na danych uzyskanych z badań eksploatacyjnych wyznaczono podstawowe charakterystyki efektywności eksploatacji badanych autobusów. Porównano marki autobusów (krajowe i zagraniczne) oraz okresy eksploatacji.

Na koniec przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe.

2. SYSTEM EKSPLOATACJI AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Rozwój miast od lat powiązany jest z potrzebami szybkiego przemieszczania się mieszkańców z obszarów zamieszkałych do miejsc chwilowego pobytu (praca, szkoła, urzędy itp.). Nieodwracalne tendencje związane z urbanizacją wymuszają stałe zwiększanie poziomu rozwoju, stopnia rozgałęzienia, gęstości sieci komunikacji zbiorowej. Wzrastają oczekiwania w stosunku do jakościowych i ilościowych charakterystyk publicznego transportu zbiorowego [94], [42].

Rosnące wymagania, dotyczące jakości usług ze strony potencjalnych pasażerów, a w efekcie z jednej strony rosnące koszty utrzymania całego systemu transportu zbiorowego i z drugiej strony, ograniczenia odnoszące się do cen biletów, wymuszają na władzach miast konieczność poszukiwania kompleksowych rozwiązań ukierunkowanych na poprawę jakości i efektywności przewozów.

W dużych aglomeracjach miejskich transport publiczny, staje wobec ogromnego wyzwania, jakim jest wzrost zatłoczenia ulic i jego negatywny wpływ na efektywność i niezawodność funkcjonowania. Badania prowadzone w wielu państwach dowiodły, że przewóz osób regularnym transportem publicznym jest coraz częściej wykorzystywany nie tylko ze względu na krótszy przeciętny czas podróży, ale także przez jego wyższą niezawodność i efektywność [13], [15], [65], [121].

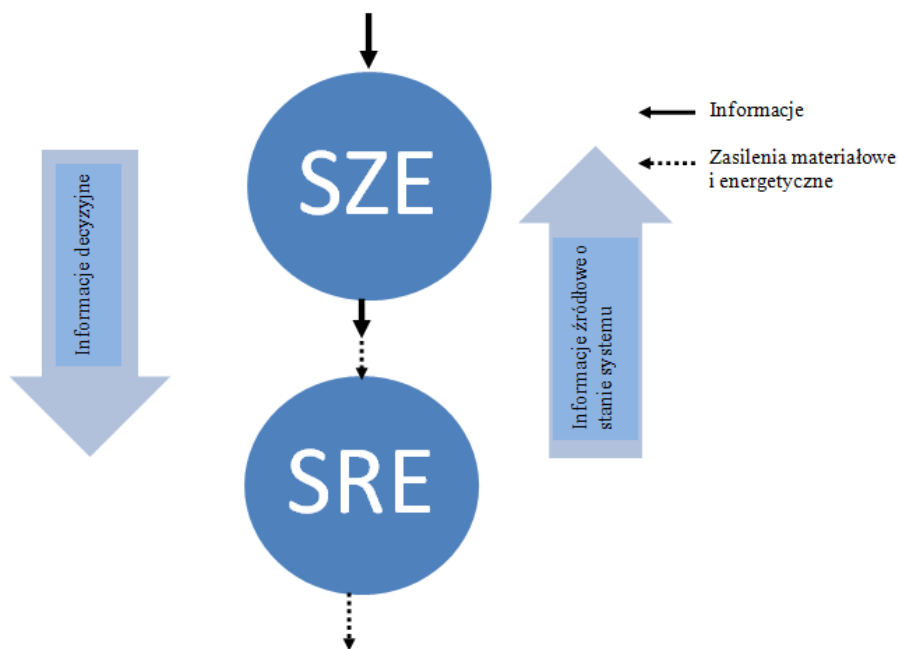
Jednakże transport naziemny w porównaniu z systemem np. kolei podziemnej, jest narażony na szereg negatywnych czynników, powodujących naruszenie rytmiczności i punktualności kursowania, co postrzegane jest przez pasażerów jako obniżenie jakości usług przewozowych.

Kolejny istotny problem publicznego transportu zbiorowego, to niezawodność środków transportu i jakość systemu obsługiwanego pojazdów. Niski poziom niezawodności środków transportu zwiększa koszty eksploatacyjne przewoźnika i obniża efektywne wykorzystanie floty. Dlatego też, wiele przedsiębiorstw transportowych, jako jedno z kluczowych zadań stawia sobie za cel doskonalenie procesów zarządzania oraz procesów inwestycyjnych. Dąży się tutaj do połączenia dwóch celów: zapewnienia maksymalnie wysokiego poziomu niezawodności funkcjonowania przy akceptowalnym poziomie kosztów przewozowych [82].

Z tego też powodu w ciągu ostatnich lat w przedsiębiorstwach komunikacyjnych obserwowany jest duży wzrost zapotrzebowania na bieżące informacje eksploatacyjne dotyczące użytkowanych pojazdów. Jest to niezmiernie ważne z punktu widzenia zapewnienia stałej gotowości całego systemu komunikacji w mieście oraz minimalizacji ryzyka technicznego w procesie eksploatacji floty pojazdów. W związku z tym przedsiębiorstwo powinno zapewnić ciągły monitoring niesprawności i uszkodzeń pojazdów.

Wyniki monitoringu zdolności eksploatacyjnej pojazdów i ich głównych podzespołów, ze szczególnym wyodrębnieniem tzw. „słabych ogniw” [23] są podstawą do racjonalizacji zakresu obsługi technicznych, według kryterium nieprzekroczenia dopuszczalnego poziomu ryzyka uszkodzenia eksploatawanych obiektów.

Utrzymanie zdolności eksploatacyjnej pojazdu jest zagadnieniem podstawowym dla każdego użytkownika. Szczególnie ważne jest to w przypadku pojazdów użytkowych, których eksploatacja ma przynosić zysk ich właścicielowi. W tym przypadku wszystkie aspekty eksploatacji związane z koniecznością ponoszenia kosztów stają się niepożądane. Każdy przewoźnik dokonując wyboru przy zakupie nowego pojazdu zawsze uwzględnia czynniki związane z kosztami eksploatacji. Producenci i sprzedawcy reklamując swój produkt zwykle mocno podkreślają aspekty zużycia paliwa oraz częstość obsługi technicznych i napraw. Czynniki te generują największe koszty eksploatacyjne.



Rys. 2.1. Model systemu eksploatacji: SRE – system realizacji eksploatacji, SZE–system zarządzania eksploatacją samochodów [29]

W niniejszej pracy przyjęto, że ogólnym obszarem zainteresowań jest miejski system eksploatacji autobusów. System eksploatacji rozumie się tu jako zorganizowany zbiór: ludzi, samochodów, uzbrojonych stanowisk odnowy, służący realizacji określonych zadań przewozowych [30], [51].

W modelu systemu eksploatacji wyróżnia się (rysunek 2.1.):

- system realizacji eksploatacji (SRE),

- system zarządzania eksploatacją samochodów (SZE).

Proces eksploatacji, zgodnie z normą [125] jest to zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektami technicznymi oraz wzajemne relacje, występujące pomiędzy nimi od chwili przejęcia obiektu do wykorzystywania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji.

Zadania eksploatacyjne w przedsiębiorstwie transportowym można na ogół podzielić na dwie grupy [43], [46] i [95]: zaplanowane i niezaplanowane. Eksploatacja zaplanowana dzieli się na prewencyjną lub zaradczą, natomiast eksploatacja niezaplanowana jest głównie eksploatacją naprawczą. Podstawą poprawnego działania eksploatacji zaradczej jest sprawna obsługa techniczna i właściwa organizacja napraw. Na tej podstawie Krishna B. Misra, wyróżnił następujące rodzaje procesów eksploatacji [60]:

1. Przedwstępnie planowaną eksploatację. Zawierają się w niej systematyczne prace konserwacyjne i kontrolne, w szczególności w zakresie: czyszczenia, smarowania, zerowania parametrów czy pomiaru głównych danych obiektu. Często jest ona przeprowadzana przez niewykwalfikowanych pracowników, a obiekty/urządzenia, które posiadają wykryte usterki zgłaszane są do wykwalifikowanego personelu technicznego.

2. Eksploatacja planowana. Znamienna tym, że jej harmonogram i zakres są ustalone z wyprzedzeniem.

3. Eksploatacja zamknięta. Jest to eksploatacja zaplanowana, ale odbywa się ona przy zamkniętej produkcji.

4. Eksploatacja rezerwowa. Jest ona przeprowadzana, gdy urządzenia/obiekty nie spełniają swoich podstawowych funkcji eksploatacyjnych. Może ona obejmować naprawy, wymiany, bądź regulacje.

5. Eksploatacja awaryjna. Jest ona przeprowadzana tylko wtedy, gdy zarówno kontrola, jak i naprawa zostały określone jako wymuszona potrzeba interwencji.

Rozpatrując procesy eksploatacyjne, Woropay i Muślewski [117] wyróżniają dwa główne rodzaje:

- procesy sterowalne,
- procesy niesterowalne.

Procesy sterowalne to zespół procesów odnoszących się do środków trwałych w fazie ich eksploatacji, które decydują o efektywności ich zastosowania i możliwościach wykonania przez nie wyznaczonych celów. Natomiast procesy niesterowalne to zespół fizyko-chemicznych procesów destrukcyjnych, które powodują starzenie i zużywanie się elementów (części) środków trwałych.

Stapelberg wyróżnił trzy podstawowe zasady oceny efektywności procesu eksploatacji [93]:

1. Efektywność eksploatacji prewencyjnej, która zależy od uzyskanych korzyści z niezawodności systemu.

2. Efektywność eksploatacji rutynowej, która zależy od korzyści wynikających z gotowości technicznej.

3. Efektywność usuwania skutków wad eksploatacyjnych, która zależy od kosztów napraw obiektów.

Ze względu na stan w jakim znajduje się pojazd (środek trwały), można uprościć klasyfikację procesów eksploatacji do procesów użytkowania, obsługi i oczekiwania. Proces użytkowania środka transportu prowadzi przez wszystkie formy, gdzie mogą być realizowane funkcje użytkowe tego obiektu. Proces eksploatacji pojazdu może obejmować [61]:

- stan oczekiwania na pracę i odpowiadający mu czas oczekiwania,
- stan pracy i odpowiadający mu czas pracy.

Przykładowymi stanami pracy dla pojazdu są [63], [111], [116] i [112]:

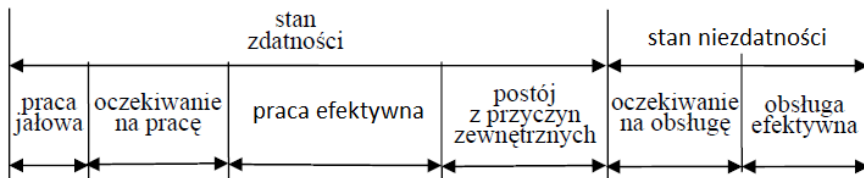
- stan jazdy z ładunkiem (praca efektywna),
- stan jazdy bez ładunku,
- stan postoju w oczekiwaniu na pracę (bez kierowcy),

stan wymuszonego postoju w ruchu (np. zatrzymanie przed sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu),

➤ stan administracyjnego postoju w pracy (np. przerwa w pracy kierowcy, przerwa na posiłek itp.),

- stan postoju podczas załadunku (ładowanie towaru, wsiadanie pasażerów),

➤ stan postoju podczas rozładunku (wyładowanie towaru, wysiadanie pasażerów).



Rys. 2.2. Dekompozycja stanów niezawodności na stany eksploatacyjne [63]

Pojazd jako obiekt naprawialny może przebywać w trakcie eksploatacji w dwóch stanach eksploatacyjnych: zdatności i niezdatności (rysunek 2.2.). Stan zdatności obejmuje stan oczekiwania na użytkowanie oraz stan czynnego użytkowania. Stan niezdatności obejmuje natomiast stan postoju administracyjnego, logistycznego, jak również stan czynnej obsługi zapobiegawczej lub też samej naprawy. Ustalenie relacji między czasem przebywania obiektu w stanie zdatności i w stanie niezdatności pozwala na wyznaczenie funkcji gotowości, która jest jedną z kluczowych miar oceny procesu eksploatacji pojazdu. Funkcja ta szczegółowo została przedstawiona w rozdziale 6.2.

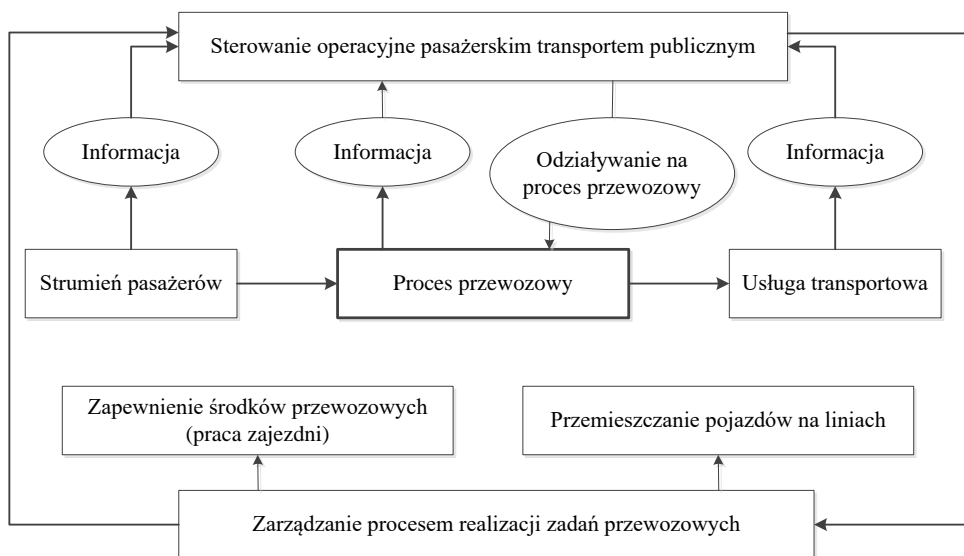
W niniejszej pracy rozpatrywanie procesów eksploatacji ograniczono do autobusów miejskich i zdefiniowano je, jako ogół procesów dotyczących użytkowania i utrzymania autobusów w całkowitym okresie ich eksploatacji.

Całkowity okres eksploatacji jest to przedział czasu zawarty między chwilą zakupu autobusu, a chwilą jego likwidacji [113].

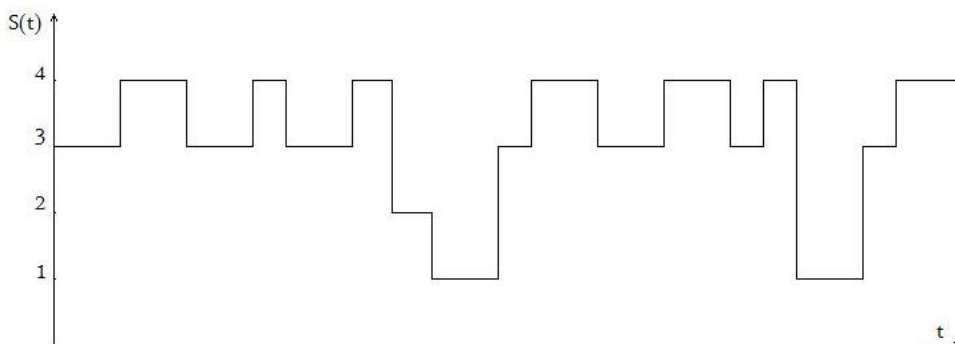
Podstawowym celem procesu zarządzania w systemie komunikacji miejskiej jest: [96]

- zapewnienie punktualności i regularności przewozów,
- utrzymanie ciągłości ruchu i wysokiej niezawodności przewozu pasażerów,
- zmniejszenie czasu podróży pasażerów, a zwłaszcza takich składników jak oczekiwanie i przesiadka.

Na rysunku 2.3. przedstawiono przykładowy schemat zarządzania systemem transportu miejskiego. Warunki, w jakich obecnie działa publiczny transport miejski, najczęściej dzieląc drogę przejazdu z innymi użytkownikami ruchu, takimi jak samochody osobowe i ciężarowe pojazdy użytkowe, które realizują zadania zaopatrzeniowe, powoduje, że spełnianie oczekiwań pasażerów stanowi olbrzymie wyzwanie dla przedsiębiorstw komunikacyjnych, zarówno w praktyce, jak i w sensie metod monitorowania i oceny efektywności działań.



Rys. 2.3. Schemat systemu funkcjonowania publicznego transportu miejskiego [82]



Rys. 2.4. Realizacja procesu eksploatacji [64]

Można przyjąć, iż realizacja rzetelnej usługi transportowej, która jest zgodna z oczekiwaniami pasażerów wymaga, aby przewoźnik stale monitorował awaryjność pojazdów i niezawodność infrastruktury. Ważne jest również, by przedsiębiorca analizował i przewidywał ryzyko zakłóceń funkcjonowania transportu w całej przestrzeni urbanistycznej miasta.

W niniejszej pracy wyróżniono cztery stany eksploatacyjne autobusów, którym przyporządkowano następujące liczby całkowite: [64]

4 – stan jazdy autobusu (jazdy kursowe, dojazd do trasy i do zajezdni – czas przebywania zdatnego pojazdu poza zajezdnią),

3 – stan oczekiwania sprawnego pojazdu na jazdę na terenie zajezdni,

2 – stan oczekiwania pojazdu na obsługiwanie,

1 – stan obsługiwania pojazdu (OC – obsługa codzienna, OT – obsługa techniczna, NB – naprawa bieżąca).

Schemat przykładowej realizacji takiego procesu eksploatacji autobusu przedstawiono na rysunku 2.4.

3. EFEKTYWNOŚĆ EKSPLOATACYJNA AUTOBUSÓW

W komunikacji miejskiej efektywność eksploatacyjna pojazdów stanowi jeden z najważniejszych wskaźników wykorzystywanych w praktycznej działalności przedsiębiorstw. Jednym z tematów w tym zakresie jest wybór odpowiedniego pojazdu dostosowanego do konkretnych warunków eksploatacyjnych. Obecnie na rynku polskim oferowana jest duża liczba pojazdów niskopodłogowych o zróżnicowanej funkcjonalności i niezawodności, z wyposażeniem dostosowanym do potrzeb konkretnego użytkownika.

Wybór metody badań efektywności eksploatacyjnej uzależniony jest od rodzaju analizowanego pojazdu oraz od wymaganej dokładności oszacowania. W ogólności metoda powinna uwzględniać możliwie wszystkie czynniki wpływające na bieżącą i perspektywiczną efektywność utrzymania pojazdu, a równocześnie gwarantować jak najprostszą procedurę ich rejestracji i obliczeń [57].

3.1. Definicja efektywności eksploatacyjnej obiektów technicznych

Analiza efektywności eksploatacji obiektów technicznych polega przede wszystkim na wyznaczeniu opłacalności ich użytkowania, uwzględniając warunki otoczenia oraz wymagania bezpieczeństwa technicznego i ekologicznego [71], [5], [19].

Według K. Szewczaka, efektywność całego systemu eksploatacji obiektów technicznych może zależeć między innymi od: [98]

- efektywności użytkowania,
- efektywności systemu utrzymania ruchu,
- ekonomicznie uzasadnionego czasu eksploatacji danego obiektu do czasu jego odnowy lub wymiany na nowy obiekt,
- kosztów cyklu życia obiektu,
- wskaźnika kosztów eksploatacji obiektu.

W analizie efektywności eksploatacji systemu zalecane jest wykorzystanie takich informacji jak [69]: wskaźnik struktury środków trwałych, stopień zużycia środków trwałych i ich poszczególnych grup, współczynnik odtworzeń środków trwałych, współczynnik reprodukcji środków trwałych, współczynnik odnowy środków trwałych, współczynnik natężenia napraw (remontów) środków trwałych, wskaźnik produktywności (efektywności) środków trwałych, jako elementów tworzonych wskaźników cząstkowych, które charakteryzują poszczególne części działalności przedsiębiorstwa.

W ogólności efektywność przejawia się w każdej celowej działalności człowieka. Jeżeli mówimy o analizie efektów przedsiębiorstwa, to należy w niej uwzględnić: identyfikację efektów, pomiar efektów, znalezienie odpowiedniej bazy porównawczej, sformułowanie metody syntetycznej oceny efektów [90].

Efektywność eksploatacji obiektu technicznego może być traktowana jako stopień realizacji zadań stawianych obiektowi do wykonania w odniesieniu do

nakładów, związanych z tą realizacją, w określonych warunkach eksploatacji i określonym przedziale czasu [107]. Innymi słowy, efektywność to poziom zaspokajania (poprzez eksploatację obiektu) określonych potrzeb użytkownika, osiągnięcia zamierzonych celów, czyli funkcjonowania zgodnie z przeznaczeniem. Efektywność obiektu może być rozpatrywana z punktu widzenia kilku różnych strategii: ekonomicznej, eksploatacyjnej, niezawodnościowej, czy jakościowej [107], [11], [76], [63].

Pomimo istnienia wielu metod, bazujących na określeniu wielorako rozumianej efektywności oraz prac naukowych związanych z tymi metodami, nie wypracowano dotąd jednobrzmiącej uniwersalnej definicji efektywności eksploatacyjnej. Jako kryterium oceny efektywności występuje skuteczność. W ogólności rozpatruje się zarówno modele oceny efektywności [88], gdzie dominującym kryterium jest skuteczność działania [102], [101], [118], jak i modele z uwzględnieniem efektów ekonomicznych [103].

W niniejszej pracy spośród wielu definicji efektywności obiektów technicznych przedstawione zostaną tylko wybrane, które zdaniem autorki są najczęściej używane w praktyce eksploatacyjnej.

Zatem efektywność to nie tylko skuteczność pozytywnego wyniku użytkowania, ale i szybkość reakcji na oczekiwania rynku; sprawność realizacji określonych celów przedsiębiorstwa [90]. Według Woropay'a [7] i Będkowskiego [115] efektywność użytkowania E_F obiektu technicznego jest zbiorem właściwości, określających jakość jego pracy, które są osiągnięte w określonych warunkach środowiska i przy określonym układzie wymuszeń sterujących.

$$E_F = f_c(W_u, W_R, P_S) \quad (3.1)$$

gdzie:

W_u – zbiór cech użytkowych urządzenia będących funkcjami własności technicznych, dynamicznych, zaopatrzeniowych itd.; W_R – zbiór warunków użytkowania, tj. zespołu wyróżnionych oddziaływań otoczenia na urządzenie; P_S – zbiór wymuszeń sterujących, tzn. pobudzeń generowanych przez decydenta, wymuszających realizację zadań przez urządzenie.

Efektywność systemu technicznego (SE) może być również zdefiniowana jako miara, przedstawiająca jak dobrze system będzie pełnić funkcje, które zostały dla niego zaprojektowane. Często jest ona wyrażana jako prawdopodobieństwo poprawnego funkcjonowania systemu w ramach danego czasu w określonych warunkach pracy.

Najważniejszymi strategiami eksploatacyjnymi są: [63]

- strategia według wielkości produkcji/usługi (dostosowanie wielkości efektu działania do potrzeb i zasobów materialnych),
- strategia według wykorzystania zasobów ludzkich (wyszkolenie, wynagrodzenie, motywacja, zarządzanie),

➤ strategia według jakości produkcji/usługi (cele, mierniki, ocena, możliwości, korzyści),

➤ strategia według źródeł produkcji/usługi (podział na produkcję własną i zleconą, dobór i ocena dostawców),

➤ strategia według wykorzystania zasobów systemu działania (możliwość działania systemu do spełnienia celu i reagowania na podejmowane decyzje).

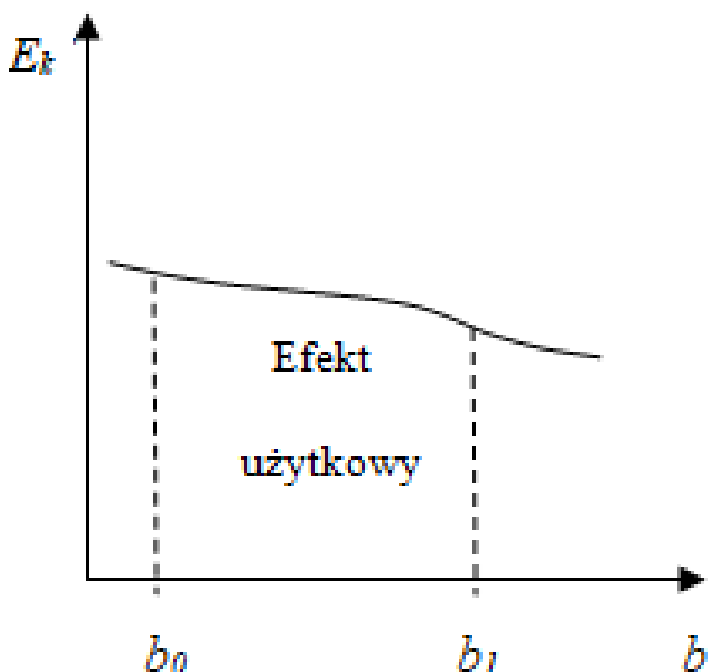
Ostatnia z wymienionych strategii jest najbliższa tematowi niniejszej pracy, gdyż dotyczy ona wprost obiektów technicznych w procesie eksploatacji. Strategia ta może zostać bardziej wnikliwie rozważona, jako strategia zarządzania według: [63]

➤ niezawodności obiektów – polegająca na zapewnieniu możliwie najwyższego wskaźnika gotowości pojazdów,

➤ efektywności ekonomicznej – minimalizująca koszty eksploatacji obiektów (pojazdów),

➤ zasobu użytkowego – determinująca obsługi obiektu zgodnie z ilością wykonanej pracy,

➤ stanu technicznego – pozwalająca na najbardziej efektywne wykorzystanie zasobów użytkowych obiektu (pojazdu).



Rys. 3.1. Graficzne przedstawienie efektu użytkowego [115]

Metodologia oceny efektywności eksploatacyjnej obiektu technicznego oparta na niezawodności optymalizacyjnej (ROB) została zaprezentowana przez Yuan i Lu w pracy [122]. Metoda ta bazuje na pomiarze efektywności ważonej za pomocą przybliżenia prawdopodobieństwa uszkodzenia obiektu (FPF).

Efekt E_k dla zadania Z_i można określić, jako całkę zrealizowanej funkcji efektywności $E_{F^Z}(b)$ względem wielkości bazowej b (rysunek 3.1). Efekt zależy od właściwości użytkowych obiektu technicznego, warunków otoczenia i wymuszeń sterujących występujących w przedziale b_0 – b_1 . Zatem efekt E_k może być kształtowany przez decydenta użytkującego urządzenie poprzez odpowiedni dobór warunków użytkowania i sterowania [115], [98].

3.2. Metody wymiarowania efektywności eksploatacyjnej pojazdów

Efektywność działania systemów transportowych może być przedstawiona, podobnie jak w metodach oceny rozwiązań sterowania ruchem, w modelach opisujących ich rentowność (zyskowość). W modelach oceny efektywności eksploatacji obiektów akcentowane są powiązania pomiędzy nieuszkodzalnością i skutecznością, co jest charakterystyczne nie tylko dla systemów transportowych [97]. Jedną z miar związku wskaźników nieuszkodzalności i skuteczności funkcjonowania systemu może być współczynnik korelacji między stanami niezawodnościowymi obiektu i stanami efektywnościowymi systemu transportowego [37].

Efektywność mierzona jest przy wykorzystaniu cząstkowych, syntetycznych wskaźników produktywności wykorzystania zasobów. Do oceny efektywności stosuje się analizę wskaźnikową [27]. Dla wielu typów i rodzajów obiektów technicznych miary efektywności procesu eksploatacji wyrażone są poprzez takie parametry jak: [53]

- pożądaný skutek lub efekt uzyskany w procesie eksploatacji,
- nakład (strata) lub niepożądany skutek wywoływany procesem eksploatacji,
- czas trwania procesu eksploatacji lub jego poszczególnych faz.

Według Woropay'a kryteria oceny efektywności przedstawiają się następująco: [115]

- kryteria operacyjne – służące do oceny działania oraz stopień osiągnięcia zamierzonych celów lub realizacji określonych potrzeb,
- kryteria ekonomiczne – służące do oceny efektów dodatnich (korzyści) i ujemnych (nakładów) oraz wyrażających, najogólniej korzyści działalności inwestycyjno-finansowej w systemie,
- kryteria informacyjne – służące do oceny organizacji systemu i przebiegu procesów informacyjnych oraz wyrażające, najogólniej wpływ systemu sterowania na działanie,

➤ kryteria techniczne – służące do oceny jakości elementów systemu, a w szczególności środków technicznych i wyrażające najogólniej, wpływ techniki na działanie,

➤ kryteria eksploatacyjne – służące do funkcjonowania elementów i środków działania oraz wyrażające ich wpływ na zdolność systemu do bezawaryjnego funkcjonowania w określonym czasie.

M. Wolański [109] wymienił kilkanaście czynników determinujących efektywność komunikacji miejskiej, w tym między innymi: charakter rynku, formę własnościową przewoźnika i sposób jego wyłonienia, wielkość, wyposażenie i wiek taboru, wielkość pracy eksploatacyjnej pojedynczego pojazdu, sposób określenia zadań przewozowych, jak również sposób waloryzacji stawki.

Najczęściej spotykany w literaturze wzór obliczeń efektywności obiektu technicznego sprowadza się do wyrażenia go, jako relacji pomiędzy korzyściami (K), a nakładami (N) jakie ponosi eksploatacja w danym okresie czasu. W zależności od celu obliczeń elementów cząstkowych takiego wskaźnika, efektywność można określić jako:

$$E = K - N \quad (3.2)$$

jeśli wyrażone wielkości określone są w tych samych jednostkach, lub

$$E = \frac{K}{N} \quad (3.3)$$

jeśli wyrażone wielkości określone są w różnych jednostkach.

W literaturze wstępuje wiele popularnych wskaźników efektywności. Przykładowe z nich to: [107]

- wydajność obiektu przypadająca na jednostkę czasu pracy,
- stosunek zysków z użytkowania obiektu do nakładów poniesionych na jego użytkowanie.

Efektywność użytkowania środków trwałych w przedsiębiorstwie transportowym można oceniać również przez współczynnik zyskowności [98], [53]:

$$E_{fz} = \frac{Z}{M} \quad (3.4)$$

gdzie:

E_{fz} – współczynnik zyskowności; Z – zysk; M – wartość środków trwałych eksploatowanych w danym okresie.

Efektywność dla szeroko rozumianego efektu produkcyjnego lub usługowego wyraża następujący wzór [53]:

$$E[Z(t)] = E[W(t)] - E[N(t)] \quad (3.5)$$

gdzie:

$E[Z(t)]$ – wartość oczekiwana szeroko rozumianego efektu Z (w sensie wartości dodanej) w wyniku przeprowadzonego procesu eksploatacyjnego, w przedziale czasu $(0, t)$; $E[W(t)]$ – wartość oczekiwana szeroko rozumianych wpływów W w wyniku przeprowadzonego procesu eksploatacyjnego, w przedziale czasu $(0, t)$; $E[N(t)]$ – wartość oczekiwana szeroko rozumianych nakładów N poniesionych dla przeprowadzonego procesu eksploatacyjnego, w przedziale czasu $(0, t)$.

Efektywność eksploatacji wyrażona dla wielkości dyskretnych przyjmuje postać [53]:

$$E_{fc} = \frac{W(t)}{N(t)} \quad (3.6)$$

gdzie:

E_{fc} – efektywność eksploatacji; $W(t)$ – wartość uzyskanych efektów; $N(t)$ – wartość zużytych nakładów do chwili czasu t od początku działania ($t = 0$).

Efektywność eksploatacyjna obiektu naprawialnego, dla którego głównym czynnikiem ograniczeń gotowości jest czas wymuszonego przestoju, jest funkcją efektywności niezawodnościowej. Efektywność ta mierzona jest prawdopodobieństwem przebywania obiektu w stanie zdatności. Efektywność obiektu naprawialnego definiowaną według K. Ważyńskiej-Fiok i J. Jaźwińskiego [107], w przypadku gdy nakłady na naprawę są małe w porównaniu ze stratami wymuszonego przestoju, oblicza się według następującego wzoru:

$$\bar{C}(t) = (g + h)K(t) - h \quad (3.7)$$

gdzie:

$\bar{C}(t)$ – efektywność obiektu naprawialnego; g – dochód na jednostkę czasu pracy obiektu; h – straty na jednostkę czasu przestoju obiektu; $K(t)$ – prawdopodobieństwo zdarzenia, że w chwili t obiekt jest zdatny.

Efektywność obiektu naprawialnego, gdy uszkodzenia obiektu charakteryzują się dużym kosztem naprawy w przedziale czasu $[0; t]$, definiowana jest według następującego wzoru: [107]

$$\bar{C}(t) = g - \frac{\bar{C}_n}{\bar{T}} \quad (3.8)$$

gdzie:

g – dochód na jednostkę czasu pracy obiektu; \bar{C}_n – średnie nakłady na naprawę jednego uszkodzenia; \bar{T} – średni czas między uszkodzeniami.

Efektywność eksploatacyjna obiektu naprawialnego, dla którego czynnikiem dominującym jest wymuszony przestój oraz wykonanie zadania, jest funkcją efektywności niezawodnościowej. Funkcja ta jest mierzona prawdopodobieństwem przebywania obiektu w stanie zdatności przez czas t_p [107], [6].

Wzór na efektywność kosztową (CE) przedstawiony w pracy Stapelberga [93], patrząc z perspektywy inżynierii systemów, może być zdefiniowany jako

stosunek efektywności systemu (SE) do jego kosztów cyklu życia produktów (LCC), który jest wyrażony według następującej zależności:

$$CE = \frac{SE}{LCC} \quad (3.9)$$

W tym kontekście, SE jest wyrażona w złotych, a więc CE będzie wielkością bezwymiarową.

Kolejnym wskaźnikiem efektywności eksploatacyjnej obiektu może być wskaźnik zaprezentowany przez A. Szymonika [100] dotyczący kosztu przewiezienia 1 pasażera na daną odległość L przedstawiony we wzorze 3.10, lub wskaźnik wykorzystania ładowności na wielkość kosztu jednostkowego przedstawiony we wzorze 3.11.

$$K_p = \frac{L + K_k + \left(\frac{L}{V_T} + T_p + Q\right) \times K_{wg}}{Q} \quad (3.10)$$

gdzie:

K_p – koszt przewiezienia 1 pasażera na odległość L ; L – odległość; K_k – koszt wozokilometra; K_{wg} – koszt wozogodziny; V_T – szybkość techniczna; T_p – czas postoju/jednego pasażera; Q – liczba przewiezionych pasażerów.

$$K_p = \frac{L + K_k + \left(\frac{L}{V_e} + T_p + (q \times C)\right) \times K_{wg}}{q \times C} \quad (3.11)$$

gdzie:

K_p – koszt przewiezienia 1 pasażera na odległość L ; L – odległość; K_k – koszt wozokilometra; K_{wg} – koszt wozogodziny; V_e – szybkość eksploatacyjna; T_p – czas postoju/jednego pasażera; q – liczba miejsc; C – wykorzystanie ładowności (miejsc).

Następnym wskaźnikiem najbardziej efektywnym z punktu widzenia wyboru rodzaju środka przewozowego w zależności od natężenia ruchu może być wskaźnik zaprezentowany przez C. Rozkwitalską [75] przedstawiony we wzorze 3.12.

$$E = K_0 + \left(K_1 \frac{1}{V_e} + K_2 \frac{Q}{V_e} + K_3 \times Q\right) 2N \quad (3.12)$$

gdzie:

K_0 – koszty eksploatacji proporcjonalne do długości trasy; K_1 – koszty eksploatacji proporcjonalne do liczby niezbędnego taboru; K_2 – koszty eksploatacji proporcjonalne do liczby wozogodzin przewidywanych przy danym rozwiązaniu; K_3 – koszty eksploatacji proporcjonalne do liczby przewidywanych przy danym rozwiązaniu wozokilometrów; V_e – prędkość eksploatacyjna; Q – roczna liczba

godzin eksploatacji przeciętnej jednostki taboru; N – szczytowe natężenie ruchu wyrażone w liczbie pasażerów/h.

Cykl życia produktu (LCC) obrazuje zjawisko stopniowego nabywania i utraty zdolności produktu do zaspokajania potrzeb konsumenta, a także proces ponoszenia kosztów związanych z innowacyjnymi produktami, ich opracowaniem, wprowadzeniem na rynek i podtrzymywaniem ich obecności na rynku [23]. W modelu „Life Cycle Cost” jako miarę efektywności ekonomicznej przyjęto całkowity koszt funkcjonowania systemu, tzn. koszt cyklu życia (LCC) [126], [104] i [10]. Podstawę konstrukcji całego modelu kosztu stanowią takie parametry, które związane są z nieuszkodzalnością, trwałością, gotowością i obsługiwalnością. Parametry te wyznaczone są w ramach analizy niezawodnościowej badanego systemu. LCC określa się wg wzoru: [99]

$$LCC = KI + KE \quad (3.13)$$

gdzie:

KI – koszty inwestycyjne systemu – to suma nakładów kapitałowych niezbędnych do realizacji przewozów w danym systemie; KE – koszty eksploatacji systemu – koszty utrzymania (bieżącego i profilaktycznego) i użytkowania systemu (koszt braku gotowości i koszty obsługiwanie).

W większości polskich [87] i zagranicznych [93] publikacjach najczęściej LCC określane są jako łączne koszty, według wzoru:

$$LCC = Koszt_{nabycia} + Koszt_{posiadania} + Koszt_{likwidacji} \quad (3.14)$$

$$LCC_{nabywcy} = Koszt_{nabycia} + Koszt_{posiadania} \quad (3.15)$$

Całkowita zdolność eksploatacyjna (TPM – *Total Production Maintenance*) charakteryzuje ujęcia „biznesowe” mające na celu zoptymalizowania efektywności środków produkcyjnych w sposób strukturyzowany. TPM koncentruje się głównie na poprawie planowanych czasów wymian pasażerów, czy przewożenia. Straty pomiędzy 100% efektywnością, a efektywnością rzeczywistą zostały skategoryzowane przez Krishna B. Misra według trzech kategorii – gotowość, wydajność i jakość: [60]

➤ straty w gotowości obiektu wynikają głównie z awarii i sytuacji przypadkowych, gdy obiekt jest unieruchomiony, podczas gdy powinien on działać poprawnie,

➤ wydajność strat to przede wszystkim straty spowodowane zmniejszeniem prędkości pojazdów i ciągłych ich zatrzymań na przystankach, czy pustymi przebiegami, gdy linia jest uruchomiona, ale nie zapewnia odpowiedniej ilości pasażerów jaka była zaplanowana,

➤ jakość strat występuje, gdy pojazd wykonuje zadania przewozowe, ale występują reklamacje usług wadliwie wykonanych.

Wybór strategii (przedstawionych w rozdziale 3.1.) jest złożonym zadaniem techniczno-organizacyjnym. Wybór ten wymaga znajomości: potrzeb rynkowych, warunków równowagi pomiędzy kosztami a zyskami oraz technicznego potencjału urządzeń eksploatowanych w przedsiębiorstwie. Ocena strategii powinna bazować przede wszystkim na uzyskanym efekcie działania systemu zgodnie z zamysłem projektanta i potrzebą użytkownika. Ocena taka powinna opierać się na ocenie całkowitych efektów działania systemu *OEE (Overall Equipment Effectiveness)* [63] i [42].

Według T. Wiremana monitoring efektywności eksploatacyjnej powinien odbywać się na kilku różnych obszarach: [108]

- całkowita efektywność wyposażenia (OEE, CEM),
- średni czas naprawy (MTTR),
- jakościowe problemy z obsługiwaniem,
- koszty utrzymania ruchu,
- wartość środków trwałych.

Całkowita efektywność wyposażenia (OEE) jest jedną z podstawowych miar używanych w przedsiębiorstwach do pomiaru efektywności produkcji. Miernik ten pokazuje, na ile uzyskuje się niższą wartość dodaną niż potencjalne możliwości przedsiębiorstwa. Należy również zauważyć, że OEE jest narzędziem do pomiaru wykorzystywanym do uwidocznienia strat ponoszonych w procesie produkcji i jednocześnie daje możliwości poprawy skuteczności „środowiska wytórczego” [98].

$$OEE = GOT \times WYK \times JAK \quad (3.16)$$

gdzie:

OEE – całkowita efektywność wyposażenia (*Overall Equipment Effectiveness*); *GOT* – wskaźnik gotowości technicznej obiektu; *WYK* – wskaźnik wykorzystania czasu użytkowania; *JAK* – wskaźnik jakości określający udział wad produkcyjnych.

Innym wskaźnikiem efektywności eksploatacyjnej obiektu może być wskaźnik *CEM* [62]. Powyższe kryterium oceny skuteczności poszerzono o czynnik ryzyka, czyli o kryterium bezpieczeństwa:

$$CEM = GOT \times WYK \times JAK \times BEZP \quad (3.17)$$

gdzie:

CEM – całkowita efektywność obiektu mechanicznego w eksploatacji; *GOT* – wskaźnik gotowości technicznej obiektu; *WYK* – wskaźnik wykorzystania obiektu; *JAK* – wskaźnik jakości określający udział wad produkcyjnych; *BEZP* – wskaźnik bezpiecznego działania.

$$BEZP = 1 - \frac{KS}{DE} \quad (3.18)$$

gdzie:

KS – koszt strat i odszkodowań w okresie badań do wysokości dochodu; DE – dochód w okresie badań.

Kolejnym wskaźnikiem efektywności eksploatacyjnej są wskaźniki średniego czasu naprawy $MTTR$ i oczekiwanego czasu pracy między uszkodzeniami $MTBF$. Wskaźnik średniego czasu naprawy $MTTR$ (*Mean Time to Repair*) wskazuje, jak długo obiekt techniczny przebywa w stanie obsługi. Gdy awaria lub uszkodzenie wystąpi nieoczekiwanie, a jej usunięcie zabierze dłuższy czas niż realizacja programu prewencyjnego obsługiwanego, tym wskaźnik $MTTR$ będzie dłuższy.

Wskaźnik oczekiwanego czasu pracy między uszkodzeniami $MTBF$ (*Mean Time Between Failures*) oblicza się według następującego wzoru:

$$MTBF = \frac{\textit{okres_oceny}}{\textit{liczba_uszkodzeń_w_okresie_oceny}} \quad (3.19)$$

Jeśli dwa wskaźniki $MTTR$ i $MTBF$ zostaną połączone, to otrzyma się ogólną miarę gotowości:

$$K_g = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (3.20)$$

Wskaźnik gotowości technicznej definiowany jest zatem jako prawdopodobieństwo że w chwili t pojazd znajduje się w stanie zdatności. Wskaźnik ten pozwala dostrzec problemy jakościowe, które związane są z obsługiwaniem. Bardziej szczegółowo wskaźnik ten został opisany w rozdziale 6.2.

4. MODEL EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ

W przedsiębiorstwach komunikacji miejskiej najważniejszymi kryteriami oceny jakości eksploatacyjnej autobusów, obok ekologiczności, są ekonomiczność i niezawodność. Literatura przedmiotu pokazuje, że zagadnieniom tym poświęca się wiele uwagi. Jednak najczęściej ocena pojazdów z punktu widzenia ekonomiki eksploatacji i ocena z punktu widzenia niezawodności traktowane są rozdzielnie.

Tymczasem w wielu praktycznych sytuacjach w działalności przedsiębiorstwa transportowego, w tym przy podejmowaniu bieżących decyzji w zarządzaniu eksploatacją taboru, a także przy wyborze marki pojazdu w ramach projektów inwestycyjnych istnieje potrzeba oceny bardziej kompleksowej, mającej charakter techniczno – ekonomiczny.

Motywy przewodnim niniejszej pracy było dostarczenie przedsiębiorstwom komunikacji miejskiej narzędzi oceny przydatności eksploatacyjnej autobusów. Zatem, celem badań było opracowanie metody oceny efektywności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej uwzględniającej równocześnie wskaźniki ekonomiczne i techniczne.

Założono, że opracowana metoda powinna umożliwiać obserwację różnic eksploatacyjnych między markami (kategoriami) autobusów w długoterminowym okresie użytkowania. Założono również, że metoda powinna cechować się prostotą obliczeń i wrażliwością na standardy jakościowe wykonania autobusów.

Utylitarnym celem pracy było porównanie efektywności eksploatacyjnej dwóch wybranych marek autobusów przy uwzględnieniu częstości uszkodzeń i kosztów utrzymania w warunkach Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie.

Przyjęte w niniejszej pracy cechy dobrego wskaźnika w przedsiębiorstwie transportowym to m.in.: [100]

- dokładność – powinien tworzyć przesłanki do podjęcia dobrych decyzji,
- rozległość – winien obejmować wiele różnych stanów badanej rzeczywistości,
- kompletność – całościowe ujmowanie i ocena badanego systemu,
- porównywalność – możliwość oceny porównawczej w różnych aspektach,
- zrozumiałość – konstrukcja wskaźnika prosta i logicznie zrozumiała.

Na tej podstawie założono, że autorski wskaźnik będzie jak najbardziej wiarygodnie odwzorowywał rzeczywistą efektywność eksploatacyjną użytkowanych pojazdów w przedsiębiorstwie oraz uwzględniał wyżej wymienione cechy.

Ze względu na założony cel, tj. porównanie marek autobusów oraz uwzględniając stwierdzone wcześniej podobieństwo wartości niektórych wskaźników ekonomicznych dla badanych marek pominięto następujące rodzaje kosztów:

- koszty paliwa – porównywalne dla wszystkich pojazdów eksploatowanych w MPK w Lublinie i zależne od stylu jazdy kierowcy,
- koszty osobowe (wynagrodzenia kierowców, kontrolerów mechaników oraz osób biurowych); nie wpływają one na zróżnicowanie efektywności eksploatacji pojazdów, są ogólnym kosztem przedsiębiorstwa,
 - programowane koszty obsługi technicznych,
 - odpisy amortyzacyjne,
 - koszty administracyjne – stałe dla całego przedsiębiorstwa, niezależne od liczby i marki użytkowanych pojazdów,
 - cena zakupu pojazdu – zależna od ZTM, pełniącego rolę inwestora, a nie od użytkownika pojazdów, przedsiębiorstwa MPK,
 - koszty innych płynów eksploatacyjnych – porównywalne dla wszystkich pojazdów eksploatowanych w MPK w Lublinie i nieznaczne (kilka procent) w całkowitych kosztach eksploatacji pojazdów.

W proponowanym modelu całkowity okres badań obejmuje 6 lat (72 miesiące) użytkowania pojazdów. Całkowity okres badań podzielono na następujące składowe okresy użytkowania (w oznaczeniach użytych w modelu matematycznym zostały one zaznaczone w indeksie górnym):

- całkowity – obejmujący całkowity okres obserwacji (6 lat) w ujęciu miesięcznym oznaczony przez indeks „cał”,
- roczny – obejmujący całkowity okres obserwacji (6 lat) w ujęciu rocznym oznaczony przez indeks „R”,
- gwarancyjny – obejmujący 1 i 2 rok eksploatacji oznaczony przez indeks „G”,
- pogwarancyjny – obejmujący 3–6 lat eksploatacji oznaczony przez indeks „P”,
- ograniczonej przydatności eksploatacyjnej – obejmujący pierwsze 3 lata użytkowania pojazdów, oznaczony przez indeks „OPE”,
- pełnej przydatności eksploatacyjnej – obejmujący kolejne 3 lata użytkowania (4–6 lat) oznaczony przez indeks „PPE”.

W opisie wyróżniono autobusy marki krajowe „K” i zagraniczne „Z” (oznaczone również w indeksie górnym).

W niniejszej pracy posłużono się pojęciem przychodu obliczeniowego z wykonanych usług przewozowych. Przyjęty model obliczeń opisano szczegółowo poniżej. Wyróżniono przychód oczekiwany P_0 oraz przychód rzeczywisty P_{RZ} .

Średni miesięczny przychód oczekiwany P_{0i} w badanej próbie autobusów w rozpatrywanym okresie czasu eksploatacji obliczono na podstawie [72] ze wzoru: [81]

$$P_{0i} = \lambda_i \times s \quad (4.1)$$

gdzie:

λ_i – intensywność użytkowania, która oznacza średnią miesięczną liczbę przejechanych kilometrów w i -tym miesiącu użytkowania na 1 autobus [km];

s- stawka przewozowa za 1 km stosowana w badanym przedsiębiorstwie (MPK Lublin = 6,5 zł/1 km).

Średni miesięczny przychód potencjalny Pp_i w badanej próbie autobusów w rozpatrywanym okresie czasu eksploatacji obliczono na podstawie wzoru:

$$P_{p_i} = M \times P_{o_i} \quad (4.2)$$

gdzie:

M – liczba pojazdów danej marki; P_{o_i} – średni miesięczny przychód oczekiwany w i-tym miesiącu użytkowania na 1 autobus [zł].

Przychód rzeczywisty P_{RZi} w badanej próbie autobusów w rozpatrywanym okresie czasu eksploatacji obliczono na podstawie wzoru: [81]

$$P_{RZi} = Kg_i \times P_{p_i} \quad (4.3)$$

gdzie:

Kg_i – średni miesięczny wskaźnik gotowości technicznej w i-tym miesiącu użytkowania [/]; P_{p_i} – średni miesięczny przychód potencjalny w i-tym miesiącu użytkowania na 1 autobus [zł].

Wskaźnik efektywności eksploatacyjnej E_{ek} [/] w badanej próbie autobusów w rozpatrywanym okresie czasu eksploatacji obliczono na podstawie wzoru: [81]

$$E_{ek} = \frac{1}{n} \sum_{i=n_p}^{n_k} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.4)$$

gdzie:

n – liczba miesięcy w analizowanym okresie eksploatacyjnym; n_p – początkowy miesiąc użytkowania w analizowanym okresie eksploatacyjnym; n_k – końcowy miesiąc użytkowania w analizowanym okresie eksploatacyjnym; P_{RZi} – średni miesięczny przychód rzeczywisty w i-tym miesiącu użytkowania na 1 autobus [zł]; C_{Ni} – średni miesięczny koszt naprawy w i-tym miesiącu użytkowania na 1 autobus [zł].

Efektywność eksploatacyjna w poszczególnych okresach użytkowania autobusów została obliczona, według następujących formuł:

1. W całkowitym badanym przedziale czasu 72 miesięcy użytkowania E_{ek}^{cal} :

$$E_{ek}^{cal} = \frac{1}{72} \sum_{i=1}^{72} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.5)$$

2. W funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym E_{ek}^G :

$$E_{ek}^G = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.6)$$

3. W funkcji czasu użytkowania w okresie pogwarancyjnym E_{ek}^P :

$$E_{ek}^P = \frac{1}{48} \sum_{i=25}^{72} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.7)$$

4. W funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej „OPE”, E_{ek}^{OPE} :

$$E_{ek}^{OPE} = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^{36} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.8)$$

5. W funkcji czasu użytkowania w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej „PPE”, E_{ek}^{PPE} :

$$E_{ek}^{PPE} = \frac{1}{36} \sum_{i=37}^{72} \frac{P_{RZi}}{C_{Ni}} \quad (4.9)$$

5. METODA BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH

5.1. Miejski transport autobusowy w Lublinie

System transportu miejskiego w Lublinie opiera się na zasadach regulacji publicznej i podlega Zakładowi Transportu Miejskiego (ZTM) będącego agendą Urzędu Miejskiego. W Lublinie występuje trzech głównych przewoźników, tj. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie Sp. z o.o. (MPK), Autobusowe Konsorcjum Lubelskie (AKL) oraz firma IREX.

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne jest spółką miejską, świadczącą swoje usługi na rzecz mieszkańców miasta z uwzględnieniem publicznych obowiązków transportowych, polityki socjalnej i innych czynników, jakie miasto musi spełniać w stosunku do swoich mieszkańców. Jest to spółka z ograniczoną odpowiedzialnością. Działa na podstawie przepisów Kodeksu spółek handlowych, ustawy z dnia 20.12.1996 roku o gospodarce komunalnej oraz postanowień Umowy Spółki – Aktu Założycielskiego Spółki, sporządzonego w formie aktu notarialnego z dnia 12.12.1997.

AKL jest konsorcjum zrzeszającym kilkudziesięciu przewoźników prywatnych świadczących usługi transportowe, które cechują się jednolitą taryfą przewozową bez uwzględnienia polityki socjalnej i społecznej miasta [67].

Lublin posiada typowy dla większości historycznych miast polskich układ komunikacyjny promienisto-pięścieniowy [119]. Układ ten rozwinął się stopniowo w sposób naturalny. Wraz z rozwojem miasta wokół centrum, w którym grupowały się wszystkie najważniejsze dla miasta instytucje w obecnym czasie, jak i w przeszłości, zmienił się układ komunikacyjny z typowo koncentrycznego w promieniowy (Załącznik 1). Powstało więcej połączeń bezpośrednich z miejsca zamieszkania do miejsca pracy i odwrotnie, wprowadzono dodatkowo średnicowy układ komunikacyjny, a także zwiększono częstotliwość kursowania pojazdów w godzinach szczytu.

Obecnie wykształciły się wyraźne kierunki jazdy pasażerów do centrum. Poszczególne dzielnice zaczęły nabierać odrębnego charakteru. Część dzielnic, podobnie jak i w innych miastach stawała się dzielnicami typowo „przemysłowymi”, na obszarze których, grupowały się tylko zakłady przemysłowe, np. Majdan Tatarski, Zadębie, Wrotków, czy Bursaki. Dzielnice te usytuowane są na obrzeżach miasta od strony północnej, wschodniej i południowej. W innych częściach miasta powstawały dzielnice typowo mieszkalne tzw. „sypialniane” takie jak: LSM, Czuby, czy Konstantynów [35].

Praktycznie cały ruch z dzielnic tzw. mieszkaniowych do zakładów przemysłowych odbywa się przez centrum miasta. Zatem koniecznością stało się budowanie obwodnic drogowych, które pozwoliłyby ominąć śródmieście i zmniejszyć natężenie ruchu w tym miejscu. W konsekwencji tego powstał najpowszechniej spotykany układ sieci transportowej miast polskich,

promieniowo-pierścieniowy. Promienie w tym układzie służą przede wszystkim do transportu pomiędzy centrum, a obsługiwany obszarem. Pierścienie – obwodnice natomiast zapewniają różnorodność obsługi i pozwalają na redukcję liczby promieni wychodzących z centrum. Obwodnice pełnią również rolę dróg tranzytowych odciążających centrum od ruchu z nim niezwiązanego [35].

System miejskiego transportu publicznego Lublina tworzą dwa podsystemy [55]: sieć linii autobusowych i sieć linii trolejbusowych. Obydwa podsystemy są ze sobą zintegrowane. Organizuje i realizuje je Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Spółka z o. o.

Zadania przewozowe w MPK realizowane są za pomocą planu tras linii autobusowych i przebiegają według ściśle obowiązujących rozkładów jazdy. Plan tras oraz rozkład jazdy opracowany jest przez Zarząd Transportu Miejskiego w Lublinie. Kontroluje on także prawidłowość realizacji przyjętego rozkładu jazdy.

Funkcjonowanie transportu miejskiego jest kształtowane przez wiele czynników niezależnych od przewoźników czy władz miasta. Do tej grupy zaliczyć można takie czynniki jak: liczba mieszkańców (ok. 344 tys.), liczba osób w wieku produkcyjnym (ok. 63,3% ogółu mieszkańców), stopa bezrobocia (10%), wielkość zatrudnienia w poszczególnych branżach, rozmieszczenie największych zakładów pracy, struktura wiekowa mieszkańców (70,1% to osoby w wieku 18-59 lat), czy liczba zarejestrowanych samochodów osobowych (160,4 tys., stan na koniec 2014 r.).

Od grudnia 2009 r. MPK Lublin Sp. z o.o. ma uprzywilejowaną pozycję na rynku miejskich przewoźników i świadczy usługi przewozowe w odniesieniu do 80% rynku. Pozostałe przewozy zagwarantowane są tzw. „przewoźnikom prywatnym”, którzy realizują przewozy wyłonione z przetargu. Jak wynika z danych MPK oraz z ocen niezależnych ekspertów, przychody ze sprzedaży biletów wyniosły w 2008 r. około 56,6 mln zł., zaś dofinansowanie przez miasto poprzez wykup przejazdów ulgowych i bezpłatnych (emeryci, renciści, bezrobotni, młodzież szkolna i studenci) wyniosło ok. 14,9 mln zł. Z tytułu świadczenia usług przewozowych poza miastem 6 gmin dofinansowało miejską komunikację kwotą 270 tys. zł. W lubelskiej komunikacji miejskiej w 2008 r. zrealizowanych zostało prawie 18,8 mln wozokilometrów, z czego na MPK Lublin przypadało ponad 15,7 mln wozokilometrów, tj. 84% pracy eksploatacyjnej [67].

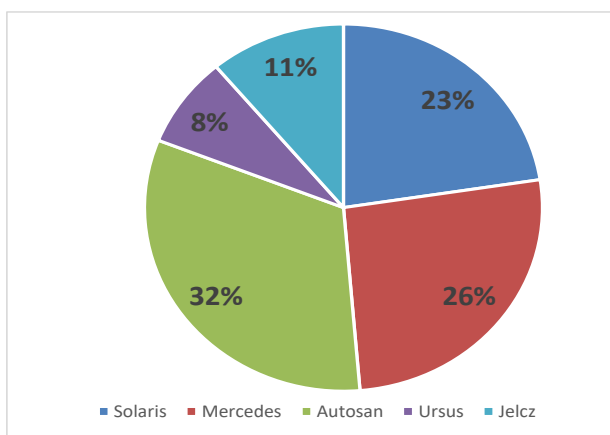
Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie realizuje przewóz pasażerów na terenie całego miasta Lublin, na podstawie podpisanej z Zarządem Transportu Miejskiego umowy. ZTM wspólnie z MPK ustalają warunki dotyczące jakości świadczenia usług komunikacji miejskiej. Na jakość świadczonych usług wpływają m.in. takie czynniki jak:

- punktualność kursowania pojazdów,
- stan techniczny i prawidłowość oznakowania pojazdu,
- stopień realizacji planowanych kursów.

Podstawowym celem działalności spółki jest odpłatne świadczenie usług transportowych w zakresie przewozu pasażerów na terenie miasta i w strefie podmiejskiej. Poza podstawową działalnością, MPK Lublin świadczy także usługi w zakresie:

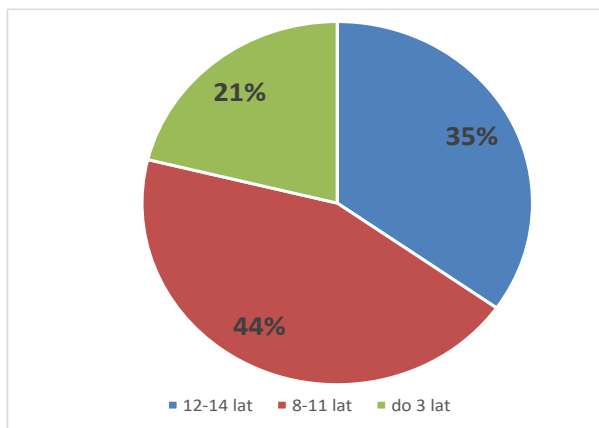
- przewozu osób niepełnosprawnych wyspecjalizowanym taborem,
- naprawy autobusów i innych pojazdów,
- reklam na pojazdach i reklamach MPK,
- wynajmu lokali biurowych, produkcyjnych i placów postojowych,
- wynajmu na zlecenie, przewozów zamkniętych,
- serwisu ogumienia,
- wymiany oleju.

MPK w Lublinie posiada 240 autobusów różnych marek. Większość z tych autobusów stanowią pojazdy w wieku ok. 12 lat. Według stanu na dzień 31 grudnia 2020 r. MPK oraz AKL realizują usługi przewozowe na następujących obszarach: miasto Lublin – 60 linii, gmina Jastków – 3 linie, gmina Konopnica – 4 linie, gmina Niemce – 1 linia, gmina Niedrzwica Duża – 1 linia, gmina Głusk – 3 linie, gmina Wólka Lubelska – 2 linie. Oprócz wyżej wymienionych linii autobusowych funkcjonuje jeszcze 9 bezpłatnych linii obsługujących hipermarkety, 2 linie sezonowe oraz 3 linie autobusowe nocne. MPK w Lublinie posiada również 65 trolejbusów obsługujących 8 linii. Średni wiek trolejbusów wynosi 17 lat [67].

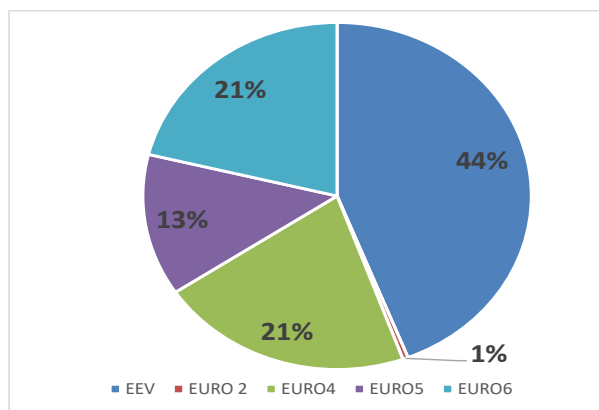


Rys. 5. 1. Struktura ilościowa taboru autobusowego z podziałem na marki autobusów (stan na 2020 r.)

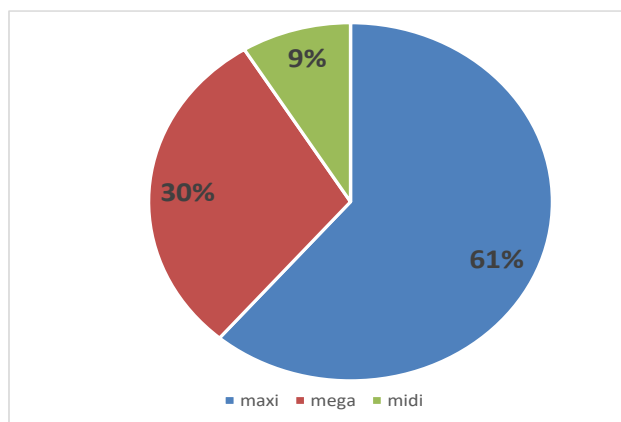
Na podstawie analizy wykresu (rysunek 5.1.) można zauważyć, iż najliczniejszą grupę stanowiły autobusy marki Autosan, których było 32% w parku wszystkich pojazdów eksploatowanych w MPK w Lublinie. Drugą grupę stanowiły autobusy Mercedes Benz z wynikiem 26% oraz Solarisy, których było 23% w parku wszystkich pojazdów. Pozostałe pojazdy to ponad 19% wszystkich autobusów.



Rys. 5. 2. Zestawienie procentowe ogólnej struktury wiekowej taboru autobusowego (stan na 2020 r.)



Rys. 5. 3. Zestawienie procentowe udziału autobusów według norm emisji spalin (stan na 2020 r.)



Rys. 5. 4. Zestawienie procentowe klas wielkości autobusów (stan na 2020 r.)

W MPK w Lublinie w 2020 r. prawie połowę taboru (44%) stanowiły autobusy z przedziału od 8–11 lat (rysunek 5.2.). Kolejnymi dwiema grupami były autobusy do 3 lat (prawie 1/4 wszystkich pojazdów i były to autobusy marki Ursus City Smile i Solaris Urbino18) oraz autobusy od 12–14 lat (25% pojazdów marki Autosan M 09 LE i Autosan M12LF Sancity 12).

Analizując rysunek 5.3. można zauważyć, że prawie połowe (44%) stanowią autobusy o normie emisji spalin EEV. Ponad 55% pojazdów posiada normę emisji spalin 4 lub wyższą. Taki fakt świadczy o nieustannym odnawianiu taboru przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne. W MPK dominują autobusy typu MAXI. Stanowią one 61% całego taboru autobusowego (rysunek 5.4.).

5.2. Obiekt badań

Obiektem badań były autobusy miejskie krajowej marki Solaris Urbino 12 produkowane przez firmę Solaris Bus & Coach S.A. oraz marki zagranicznej Mercedes-Benz Conecto 628 LF produkowane przez firmę Daimler AG. Autobusy te należą do klasy pojazdów maxi. Podstawowe dane techniczno – eksploatacyjne autobusów zamieszczono w tabeli 5.1., a dane techniczne silników podano w tabeli 5.2. Badania prowadzone były metodą próby ciągłej. Autobusy były eksploatowane w bardzo podobnych warunkach.

Wybór pojazdów do badań z jednej partii produkcyjnej tego samego okresu produkcji (autobusy posiadają kolejne numery podwozia – tabela 5.3.) oraz jednoczesne wprowadzenie ich do eksploatacji i badań w dniu 01.06.2008 r. autobusów krajowych oraz 01.01.2009 r. autobusów zagranicznych zapewnia spełnienie warunków jednorodności próby obiektów i warunków eksploatacji, niezbędnych przy stosowaniu metodyki „próby ciągłej”.



Rys. 5. 5. Autobus marki krajowej [12]



Rys. 5. 6. Autobus marki zagranicznej [12]

Tab. 5.1. Wskaźniki techniczno – eksploatacyjne badanych autobusów [124], [123]

wskaźniki	krajowe	zagraniczne
klasa	MAXI	MAXI
moc silnika [kW]	188	210
max. moment obrotowy [Nm]	1 050	1 100
wymiary:		
długość [mm]	12 000	11 950
szerokość [mm]	2 550	2 550
wysokość [mm]	2 850	3 076
promień zawracania [mm]	21 400	21 950
rozstaw osi [mm]	5 900	5 845
masa własna [kg]	10 900	10 860
całkowita masa max. [kg]	18 000	18 000
ilość miejsc:		
siedzących	29	27
stojących	74	78
długość [mm]	12 000	11 950
szerokość [mm]	2 550	2 550
wysokość [mm]	2 850	3 076
promień zawracania [mm]	21 400	21 950
rozstaw osi I–II [mm]	5 900	5 845
stopni/wysokość podłogi w I drzwiach [mm]	320	320
stopni/wysokość podłogi w II drzwiach [mm]	320	340
stopni/wysokość podłogi w III drzwiach [mm]	340	340
ilość opon	6	6
rozmiar opon	275/70 R22,5	275/70 R22,5

Tab. 5.2. Dane techniczne silnika badanych autobusów [124], [123]

wskaźniki	krajowe	zagraniczne
producent	DAF	Mercedes-Benz
typ silnika	PR 183 S1	OM 926 LA
pojemność skokowa cm ³	9 186	7 201
liczba cylindrów	6	6
moc maksymalna [KW]	188- przy 2 080 obr/min	210-przy 2 200 obr/min
moment maksymalny [Nm]	1 050-przy 1 100 obr/min	1 100-przy 1 100 obr/min
usytuowanie	rzędowy, wieżowy z tyłu	rzędowy, wieżowy z tyłu

Tab. 5.3. Wykaz badanych autobusów

L.p.	nr inwen.	marka	rok prod.	nr rejestr.	nr podwozia	stan licznika w dniu rozpoczęcia badań
1	2290	krajowe	2008	LU-9458H	SUU2411618BPN1531	597
2	2291	krajowe	2008	LU-9461H	SUU2411618BPN1532	512
3	2292	krajowe	2008	LU-9459H	SUU2411618BPN1533	506
4	2293	krajowe	2008	LU-9460H	SUU2411618BPN1534	528
5	2294	krajowe	2008	LU-9462H	SUU2411618BPN1535	509
6	2295	krajowe	2008	LU-1151J	SUU2411618BPN1536	501
7	2296	krajowe	2008	LU-1152J	SUU2411618BPN1537	507
8	2297	krajowe	2008	LU-1153J	SUU2411618BPN1538	503
9	2298	krajowe	2008	LU-1154J	SUU2411618BPN1539	500
10	2299	krajowe	2008	LU-1155J	SUU2411618BPN1540	501
11	2300	krajowe	2008	LU-1156J	SUU2411618BPN1541	548
12	2301	krajowe	2008	LU-1157J	SUU2411618BPN1542	500
13	2302	krajowe	2008	LU-1158J	SUU2411618BPN1543	472
14	2303	krajowe	2008	LU-1159J	SUU2411618BPN1544	488
15	2304	krajowe	2008	LU-1160J	SUU2411618BPN1545	453
16	2305	krajowe	2008	LU-4214J	SUU2411618BPN1546	501
17	2306	krajowe	2008	LU-4215J	SUU2411618BPN1547	509
18	2307	krajowe	2008	LU-4216J	SUU2411618BPN1548	501
19	2308	krajowe	2008	LU-4217J	SUU2411618BPN1549	500
20	2309	krajowe	2008	LU-4218J	SUU2411618BPN1550	504
21	2310	zagraniczne	2008	LU-3176K	WEB62831013247677	1584
22	2311	zagraniczne	2008	LU-3177K	WEB62831013247678	1694
23	2312	zagraniczne	2009	LU-6016L	WEB62831013251516	1604

L.p.	nr inwen.	marka	rok prod.	nr rejestr.	nr podwozia	stan licznika w dniu rozpoczęcia badań
24	2313	zagraniczne	2009	LU-6017L	WEB62831013251517	1540
25	2314	zagraniczne	2009	LU-6011L	WEB62831013251518	1536
26	2315	zagraniczne	2009	LU-6014L	WEB62831013251519	1536
27	2320	zagraniczne	2009	LU-6329L	WEB62831013251520	1668
28	2316	zagraniczne	2009	LU-6015L	WEB62831013251521	1758
29	2317	zagraniczne	2009	LU-6019L	WEB62831013251522	1559
30	2318	zagraniczne	2009	LU-6018L	WEB62831013251523	1533
31	2319	zagraniczne	2009	LU-6012L	WEB62831013251524	1580
32	2321	zagraniczne	2009	LU-6327L	WEB62831013251525	1679
33	2322	zagraniczne	2009	LU-6328L	WEB62831013251526	1846
34	2323	zagraniczne	2009	LU-6341L	WEB62831013251527	1679
35	2324	zagraniczne	2009	LU-6326L	WEB62831013251528	1519
36	2325	zagraniczne	2009	LU-6331L	WEB62831013251529	1550
37	2326	zagraniczne	2009	LU-6342L	WEB62831013251530	1523
38	2327	zagraniczne	2009	LU-2309M	WEB62831013251531	1453
39	2328	zagraniczne	2009	LU-6349L	WEB62831013251532	1533
40	2329	zagraniczne	2009	LU-6347L	WEB62831013251533	1487
41	2330	zagraniczne	2009	LU-6345L	WEB62831013251534	1468
42	2331	zagraniczne	2009	LU-6346L	WEB62831013251535	1515

Liczność próbki wynosiła 20 obiektów marki krajowej oraz 22 obiekty marki zagranicznej. Liczność próbki była ograniczona przyczynami obiektywnymi (jednoczesny okres wprowadzenia do eksploatacji oraz całość próby obu marek pojazdów w MPK w Lublinie). W przypadku badania uszkodzalności uwzględniono wszystkie zdarzenia mające miejsce w okresie 72 miesięcy użytkowania. Początkowe stany liczników wszystkich badanych pojazdów oraz podstawowych informacji identyfikujących badane pojazdy, m.in.: numery inwentarzowe i numery podwozia zestawiono w tabeli 5.3. Dany przebieg początkowy wynikał z dojazdu pojazdów z miejsca produkcji do macierzystej zajezdni przedsiębiorstwa.

Obie marki autobusów użytkowane były jako pojazdy kursowe, obsługujące ustalone, wybrane linie komunikacyjne. Każdy z badanych pojazdów, który był sprawny technicznie mógł zostać wysłany przez kontrolera na jedną z obsługiwanych linii. Linie były obsługiwane przez pojazdy w układzie pracy dwuzmianowym, całodziennym oraz tylko dla okresu szczytowego. Podczas pełnej obsady wszystkich linii komunikacyjnych, autobus mógł również w stanie

gotowości technicznej pozostać w zajezdni jako pojazd rezerwowy. Kolejność tych trzech metod użytkowania pojazdów miała charakter losowy.

Uszkodzenia powstałe lub ujawnione podczas jazdy były sygnałem dla kierowcy do przerywania jego użytkowania i zjazdu autobusu do zajezdni. Każda naprawa dokonywana była, w zależności od pory zjazdu, niezwłocznie lub też począwszy od następnej zmiany pracy mechaników. Uszkodzone i zużyte elementy pojazdu były wymieniane na nowe lub podlegały regulacji.

Tab. 5.4. Wykaz przeglądów technicznych autobusów w zależności od przebiegu eksploatacyjnego [124], [123]

oznaczenie przebiegu	przebieg [tys. km]										
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660
P0	4; 8										
P1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
P2		x		x		x		x		x	
P3			x			x			x		

Tab. 5.5. Podział autobusu na układy

lp.	oznakowanie kodowe	nazwa układu
1	US	silnik całość
2	UCH	chłodzenia
3	UZ	zasilania
4	UH	hamulcowy
5	UN	przeniesienia napędu
6	UZW	zawieszenia
7	UE	elektryczny
8	UP	pneumatyczny
9	UOK	ogrzewania i klimatyzacji
10	UOG	ogumienie
11	UOW	oświetlenie
12	UK	kierowniczy
13	UWP	wyposażenie pojazdu
14	USZ	szyby
15	UD	drzwi
16	UKR	kratownica
17	UL	lusterka
18	UKL	kolizje drogowe

Obsługi techniczne autobusów w MPK w Lublinie podzielone są na dwie grupy: zależne od czasu użytkowania oraz przebiegu eksploatacyjnego. Przeglądy zależne od czasu wykonywane są: codziennie (OC), przed zimą i po zimie. W obu typach pojazdów przewidziana jest również obsługa techniczna (OT)

przez producentów, która zakłada okresową kontrolę stanu technicznego oraz przeprowadzenie czynności obsługowych według instrukcji obsługi producenta co 60 tysięcy km (tabela 5.4). Przegląd „zerowy” autobusu należy wykonać przy przebiegu 4 000 i 8 000 km [124] i [123]. Jako podstawę dekompozycji przyjęto strukturę funkcjonalno - konstrukcyjną autobusu. Struktura ta z uwzględnieniem potrzeb Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego oraz na podstawie prac [24] i [30], została podzielona na układy, które przedstawiono w tabeli 5.5. Wyróżniono w niej 10 układów konstrukcyjnych oraz 8 układów związanych z poszczególnymi elementami pojazdu nie wchodzącymi w skład układów, bądź jego uszkodzeniami.

Dekompozycja została przeprowadzona na podstawie Instrukcji eksploatacji oraz Instrukcji wypełniania karty zjazdów/przestojów dla wszystkich autobusów użytkowanych w MPK w Lublinie (tabela 5.6. i Załącznik nr 2). Przyjęto, że autobus ma szeregową strukturę niezawodności, a uszkodzenie dowolnego komponentu powoduje przejście ze stanu zdatności do stanu niezdatności [24].

W obserwowanym okresie 6 lat użytkowania pojazdów wyróżniono okresy: gwarancyjny, obejmujący 1 i 2 rok eksploatacji oraz okres pogwarancyjny obejmujący lata 3–6. Kolejnymi okresami jakie zostały wyróżnione, z uwagi na stan techniczny analizowanych pojazdów, był okres nazwany przez autorkę „okresem ograniczonej przydatności eksploatacyjnej”, obejmujący 3 pierwsze lata użytkowania pojazdów oraz „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej”, obejmujący kolejne 3 lata użytkowania (4–6 lat).

5.3. System zbierania informacji

Eksploatacja pojazdów wiąże się nierozłącznie z możliwością występowania różnego rodzaju zdarzeń niepożądanych (w tym uszkodzeń). Losowy charakter powstawania uszkodzeń sprawia, że prowadzenie badań w tym zakresie jest złożone czasochłonne [50].

Analiza dokumentów źródłowych przedsiębiorstwa komunikacyjnego pozwala na wykonanie: [24]

1. Zestawień nazw dokumentów eksploatacyjnych.
2. Zestawień wielkości liczbowych bezpośrednio charakteryzujących proces eksploatacji (np. czas, przebieg autobusu, ilość cykli pracy itp.).
3. Zestawień wielkości liczbowych obliczonych na podstawie wielkości bezpośrednich (np. jednostkowe zużycie materiałów eksploatacyjnych, średnie czasy lub przebiegi między uszkodzeniami, naprawami itp.).
4. Wybór informacji istotnych z punktu widzenia celu badań.
5. Wzajemnych porównań informacji w celu wyeliminowania informacji powtarzających się lub wynikających z obliczeń.
6. Oceny dostępności i określenie miejsca przechowywania dokumentów źródłowych.
7. Oceny wiarygodności informacji zawartych w tych dokumentach.

Szczegółowa rejestracja danych eksploatacyjnych została powierzona etatowym pracownikom przedsiębiorstwa MPK Lublin. Gromadzenie informacji odbywało się na specjalnych nośnikach badawczych. Dokumentacja badawcza zawierała: katalog części zamiennych autobusów, identyfikację kodową usterek i kosztów materiałowych oraz zestaw 8 kart dokumentacji eksploatacyjnej:

1. Kartę danych identyfikujących badane pojazdy.
2. Kartę informacyjną pracy pojazdu (drogowa).
3. Kartę zjazdów/przestojów.
4. Kartę oszczędności/przepałów.
5. Kartę napraw gwarancyjnych.
6. Kartę gotowości pojazdów.
7. Kartę zużycia paliwa i AdBlue oraz innych płynów eksploatacyjnych.
8. Wykaz kosztów materiałowych.

Podstawowym dokumentem zawierającym informacje o procesie użytkowania autobusu jest karta informacyjna pracy pojazdu (karta drogowa), którą kierowca otrzymuje od dyspozytora zajezdni przy pierwszym w danym dniu wyjeździe autobusu z zajezdni. Karta drogowa przypisana była do danego autobusu i rejestrowane były w niej zdarzenia dotyczące tylko jednego dnia roboczego. Karta drogowa z dnia poprzedniego przekazywana była do działu eksploatacyjnego, w celu ewidencji i kontroli czasu pracy kierowcy i zużycia paliwa przez dany autobus. Autobus po przyjeździe do zajezdni kierowany był do stacji paliw celem uzupełnienia paliwa, a następnie na stanowisko OC, gdzie wykonane były czynności obsługowo-naprawcze. Jeżeli w trakcie realizacji zadań przewozowych nastąpiło uszkodzenie autobusu, to kierowca zgłaszał drogą radiową objawy uszkodzenia do centrali ruchu oraz wpisywał objawy uszkodzenia w zleceniu naprawy. W zależności od stanu uszkodzeń autobus naprawiany był na miejscu lub został skierowany do zajezdni. Jeżeli stan uszkodzonego autobusu uniemożliwiał jego samodzielny zjazd wówczas autobus był holowany do stacji obsług przez autobus techniczny. Po wjeździe uszkodzonego autobusu do zajezdni dyspozytor opisywał zdarzenie w Karcie napraw pojazdu. Wszystkie czynności związane z procesem eksploatacji autobusów były szczegółowo opisywane i kontrolowane przez pracowników MPK. Przykładowe karty dokumentacji eksploatacyjnej zamieszczono w Załączniku 2.

Karta zjazdów i przestojów była wypełniana za każdym razem w przypadku wystąpienia uszkodzenia pojazdu (tabela 5.6). Karta ta zawiera dane dotyczące identyfikacji pojazdu, datę i godzinę rozpoczęcia obsługi, rodzaj i przyczynę usterki oraz czas związany z przestojem pojazdu. Kolejna część karty stanowi kompletny opis uszkodzenia elementu razem z numerem kodowym tego elementu i stratami kilometrów. Informacje wymagające bardziej szczegółowego opisu, jak na przykład przyczyny uszkodzenia, czy sposoby ich usunięcia zostały z góry narzucone przez przewoźnika MPK i zakodowane w instrukcji prowadzenia dokumentacji badawczej. W ten sposób wyeliminowano dowolność w interpretacji i znakowaniu różnych zdarzeń dotyczących uszkodzeń i ich usuwaniu.

Tab. 5.6. Karta zjazdów i przestojów

Raport zjazdów awaryjnych i niewykonanych kilometrów w okresie 2013-06-28										
Lp	nr linii	nr kursówki	godzina		nr ewid. kier. (planowany)	nr ewid. kier. (wykonujący)	nr pojazdu	straty km	grupa awarii	powód awarii
			zjazd	wyjazd						
1	55	055/01	06:15	06:35	2925	2925	22377	7,229	B	brak przejazdu –wina obcego
2	14	014/04	06:49	06:52	3962	3962	22237	1,352	A1	rozrusznik
3	8	008/01	14:06	14:17	3228	3228	22314	2,357	A2	kolizja z winy mpk

Tab. 5.7. Karta gotowości pojazdu

krajowe														
		dziennie				narastająco			przestoje					
data	Inw.	I z	II z	śr	%	Inw.	Got.	%	NB	ON	Bcz	NW	WS	INNE
04-01-10	20	17	17	17	0,850	20	17	85,0			1	1		1
05-01-10	20	16	17	16,5	0,825	40	33,5	83,8	0,5		1	1		1
06-01-10	20	18	17	17,5	0,875	60	51	85,0	1		0,5			1
07-01-10	20	16	17	16,5	0,825	80	67,5	84,4	2		0,5			1
08-01-10	20	17	17	17	0,850	100	84,5	84,5	1		1			1
11-01-10	20	14	16	15	0,750	120	99,5	82,9	2		1	2		
12-01-10	20	16	15	15,5	0,775	140	115	82,1	1,5		1	2		

Zbiór oznaczeń kodowych przydatny do wypełniania karty zjazdów i przestojów pojazdu pokazano w Załączniku nr 2 tabela 3 oraz w Załączniku nr 6. Karta gotowość pojazdów (tabela 5.7.) zawiera wykaz dziennych wozodni inwentarzowych i wozodni rzeczywistych z podziałem na przyczyny przestojów. Wykaz kosztów materiałowych zawiera dokładne dane nazwy materiału i płynów eksploatacyjnych, ich ilość oraz koszt jednostkowy (Załącznik nr 2, tabela 2).

5.4. Metodyka analizy wyników

5.4.1. Analiza wariancji

Metoda analizy wariancji (*Analysis of Variance* – ANOVA) została zapożyczona przez Fishera w latach dwudziestych XX w [105]. Metoda ta po-

zwala ocenić wpływ niezależnego czynnika klasyfikującego x_j ($j = 1, \dots, m$) na rozkład zmiennej zależnej, inaczej objaśnianej y . Podstawowym zadaniem metody ANOVA jest analiza istotności różnic między średnimi dla prób pochodzących z różnorodnych populacji odpowiadających poszczególnym poziomom czynnika. Analiza ta pozwala stwierdzić, czy wartości średnie zmiennej y dla wielu prób są porównywalne, co sugeruje brak różnic zmiennej zależnej dla poszczególnych poziomów czynnika klasyfikującego. Natomiast przeciwnym przypadkiem będzie sytuacja, gdy średnie wartości y będą istotnie różnić się w zależności od poziomu zmiennej x_j , co sugeruje wpływ czynnika x_j na zmienną objaśnianą.

Zatem analiza wariancji ANOVA umożliwia ocenę, czy zróżnicowanie ze względu na zmienną y jest spowodowane zróżnicowaniem grup wyznaczonych przez poziomy czynnika x_j , czy różnicami wewnątrz tych grup, spowodowanej występowaniem błędu eksperymentalnego. Ważnym czynnikiem podczas analizy danych tą metodą są również interakcje pomiędzy poszczególnymi czynnikami. Interakcje te rozumie się jako wpływ powiązania czynników na badaną zmienną zależną. Tak więc, na podstawie wyników obliczeń należy zweryfikować hipotezę zerową o równości wartości średnich zmiennej zależnej dla wszystkich k poziomów czynnika klasyfikującego: [40]

$$H_0 : \bar{y}_1 = \bar{y}_2 = \dots = \bar{y}_k \quad (5.1)$$

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, czyli:

$$H_1 : y_i \neq y_j \quad (5.2)$$

W metodzie tej wariancje podzielone są na części. Całkowita suma kwadratów odchyłeń SS_{cala} zmiennej objaśnianej y składa się z dwóch składowych: $SS_{międz}$ + SS_{wew} . Pierwszy składnik można wyznaczyć jako sumę kwadratów odchyłeń średnich grupowych od średniej ogólnej, (ang. *sums of squares*, $SS_{międz}$). Kolejny składnik to suma kwadratów odchyłeń przypadkowych pomiarów w grupach od średnich grupowych, czyli wewnątrzgrupowa suma kwadratów odchyłeń (SS_{wew}). Poniżej przedstawiono poszczególne wzory do obliczeń: [106], [92].

$$SS_{cala} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (5.3)$$

$$SS_{międz} = n \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5.4)$$

$$SS_{wew} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (5.5)$$

Im bardziej średnie w grupach różnią się od średniej ogólnej, tym większa jest wartość składnika $SS_{cała}$. Hipoteza zerowa zostanie odrzucona, gdy $SS_{cała}$ jest wystarczająco duże w porównaniu do SS_{wew} . Gdy wyznaczona wartość statystyki F jest większa od wartości krytycznej dla założonego poziomu istotności α , $F \geq F_\alpha$ należy odrzucić hipotezę zerową o równości średnich we wszystkich grupach na korzyść hipotezy alternatywnej.

Wyniki obliczeń mogą potwierdzić również wykresy interakcji. Wykresy te tworzone są w taki sposób, że na osi rzędnych odkładane są wartości zmiennej zależnej, natomiast na osi odciętych poziomy jednego z czynników. W takim układzie współrzędnych wykreślane są poziomy drugiego czynnika. Przebieg krzywych: krzyżowanie się, załamywanie się, równoległość – informują o efektach interakcji. Nierównoległości przebiegu linii na wykresach wskazują na interakcje pomiędzy czynnikami. Równoległość krzywych do osi odciętych wskazuje na efekt pochodzący od drugiego czynnika, a nakładanie się na siebie krzywych wskazuje na brak efektu od drugiego czynnika. Wyniki analizy ANOVA przedstawia się zwykle w postaci tabeli analizy wariancji. Przykładem modelu jednoczynnikowej analizy wariancji wraz z wzorami przedstawiono w tabeli 5.8.

Tab. 5.8. Tabela jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA [20]

rodzaj zmienności	suma kwadratów odchyień SS	stopnie swobody df	średni kwadrat odchyień MS	statystyka F
czynnik x (zmienność międzygrupowa)	$SS_{międz}$	$p-1$	$MS_{międz} = SS_{międz}/p-1$	$F = MS_{cała}/MS_{wew}$
odchylenie resztowe (zmienność wewnątrzgrupowa)	SS_{wew}	$p(n-1)$	$MS_{wew} = SS_{wew}/p(n-1)$	
zmienność całkowita	$SS_{cała}$	$p n-1$	$MS_{cała} = SS_{cała}/p n-1$	

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 $\sigma_1^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$ dla każdego z czynników (wariancje w obrębie grup są sobie równe).

W celu weryfikacji założenia o normalności rozkładu zmiennej zależnej można posłużyć się jednym z testów statystycznych: χ^2 , Shapiro–Wilka [21], Lillieforsa lub w sposób przybliżony korzystając z wykresu kwantylowego [47], [89]. W celu weryfikacji założenia o jednorodności wariancji można posłużyć się jednym z testów statystycznych: *Levene’a*, *Barletta*, *Levena*, *Cochrana* [45], [40]. *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. Wyniki testów generowane są w formie tabeli statystycznej z wartością prawdopodobieństwa p (od 0 do 1), która sugeruje przyjęcie, bądź odrzucenie hipotezy zerowej. Im wyższa jest wartość prawdopodobieństwa, tym mocniejszy jest dowód na istnienie jednorodności wariancji wyników. Wartość prawdopodobieństwa, która jest bliska zera przyczynia się do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji w danych grupach.

Jeśli w analizie wariancji jednoczynnikowej nie jest spełnione jedno z pierwszych trzech założeń, należy zastosować test ANOVA rang Kruskala–Wallisa i test mediany. Testy te dostępne są w ramach pakietu komputerowego STATISTICA 10.0. Test Kruskala–Wallisa jest nieparametrycznym odpowiednikiem jednoczynnikowej analizy wariancji. Za pomocą tego testu oceniono, czy n niezależnych próbek pochodzi z tej samej populacji. Jeśli natomiast nie jest spełnione założenie jednorodności wariancji, do oceny średnich należy zastosować test Welcha [73]. Statystyka testowa Kruskala–Wallisa porównuje rozkład zmiennej w $k > 2$ populacjach. Test ten oparty jest na rangach, a nie na średnich, tak jak w analizie jednoczynnikowej ANOVA. Statystyka ta ma postać: [47]

$$T = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k n_i \left(\bar{R}_i - \frac{n+1}{2} \right)^2 \quad (5.6)$$

$$\bar{R}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij} \quad (5.7)$$

gdzie:

R_{ij} – ranga w całej próbie j -tego elementu z i -tej grupy; n – statystyczna próba o n – elementach; k – liczba grup.

Test ten zakłada, że rozważana zmienna została zmierzona przynajmniej na skali przedziałowej. Za pomocą tego testu ocenia się, czy n niezależnych próbek pochodzi z tej samej populacji, bądź z populacji z taką samą medianą [92]. Poszczególne próbki nie muszą posiadać tej samej liczności.

Test mediany jest mniej dokładny od testu ANOVA Kruskala–Wallisa. Testująca statystyka budowana jest w oparciu o liczbę przypadków w każdej z prób, które wypadają powyżej lub poniżej wspólnej mediany. Wyniki te grupowane są w tablicy kontyngencji $2 \times k$ (liczba prób), następnie obliczana jest wartość statystyki chi-kwadrat [92].

Zastosowanie w analizach prezentowanych w niniejszej pracy testu Kruskala–Wallisa, uzasadnione było nie spełnieniem założeń wymaganych dla testów parametrycznych, np. zmienne losowe są mierzalne, zmienne losowe mają rozkład normalny, równość wariancji itd.

5.4.2. Analiza niezawodności

W ocenie niezawodności autobusów i układów konstrukcyjnych posłużono się modelem Weibull’a. Rozkład Weibull’a jest szeroko stosowany w celu zilustrowania awaryjności systemu, a także często wykorzystywany do badań problemów eksploatacji oraz planowania produkcji [14], [120].

Przeprowadzona została estymacja parametrów dwuparametrowego rozkładu Weibull’a metodą największej wiarygodności (ang. *maximum likelihood method*) [26]. Rozkład Weibull’a opisuje czas poprawnej pracy takich urządzeń, w których występujące uszkodzenia są niezależne, każde z uszkodzeń powoduje utratę stanu zdatności urządzenia, a każde urządzenie składa się z wystarczająco dużej liczby jednorodnych elementów [56]. Metoda maksymalnej wiarygodności zakłada, że wiarygodność L próby składającej się z n obserwacji x_1, x_2, \dots, x_n jest funkcją łącznego prawdopodobieństwa $p(x_1, x_2, \dots, x_n)$, gdzie x_1, x_2, \dots, x_n są zmiennymi losowymi skokowymi. Jeśli x_1, x_2, \dots, x_n są zmiennymi losowymi ciągłymi, wówczas wiarygodność L próby składającej się z n obserwacji x_1, x_2, \dots, x_n jest funkcją gęstości łącznego prawdopodobieństwa $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ [22].

Wyznaczono charakterystyki prawdopodobieństwa przebiegów pomiędzy uszkodzeniami dla autobusów oraz ich poszczególnych układów. Z wykresów tych odczytano parametry rozkładu Weibull’a. Parametr kształtu jest równy współczynnikowi nachylenia dopasowanej linii prostej, a parametr skali można obliczyć jako \exp (wyraz wolny/nachylenie). Metody nieparametryczne tego typu są wykorzystywane m.in. w ocenie zakładanego przebiegu pojazdów w okresie gwarancyjnym [3], [36]. W oparciu o parametry kształtu i skali wyznaczone za pomocą siatek Weibull’a wyznaczono rozkłady niezawodności. Taka metoda analizy niezawodności stosowana była przez wielu badaczy do doskonalenia systemów transportu miejskiego [50], [89], [58], [25] oraz systemów transportu kolejowego [99], oceny awaryjności układów napędowych autobusów [39], [28], optymalizacji okresów gwarancyjnych [1] i pogwarancyjnych [70], [74]. Wartość niezawodności wyznaczono z rozkładu Weibull’a, a gęstość prawdopodobieństwa opisana jest zależnością: [59]

$$a = \frac{c}{b} \left(\frac{t}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\theta}{b}\right)^c\right) \quad (5.8)$$

gdzie:

x – przebieg [km]; b – parametr skali; c – parametr kształtu; θ – parametr położenia, (0 dla dwuparametrowego rozkładu Weibull’a); e – stała ($e = 2.71828\dots$).

Natomiast dystrybuanta (z dodatnimi parametrami $b, c, i \theta$) dana jest wzorem: [59]

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \theta}{b}\right)^c\right) \quad (5.9)$$

W wielu pracach badawczych dotyczących niezawodności, funkcja Kaplan'a–Meier'a bywa używana [86]. Funkcja przetrwania Kaplan'a–Meier'a opisuje stosunek liczby obiektów pozostających w stanie zdatności w czasie t do początkowej liczby obiektów. Jest to skumulowana proporcja przypadków, które nie osiągnęły stanu granicznego (CPS) od chwili początkowej do rozpatrywanej chwili użytkowania [41]. Funkcja Kaplan'a–Meier'a $S(t)$ nazywana też funkcją przetrwania opisana jest wzorem:

$$S(t) = \prod_{i=1}^t \left[\frac{n - j}{n - j + 1} \right]^{\delta(j)} \quad (5.10)$$

gdzie:

$S(t)$ – oszacowana funkcja przetrwania; n – całkowita liczba przypadków; I – iloczyn wszystkich przypadków mniejszych lub równych t ; $\delta(j)$ – stała, która wynosi 1, jeśli j -ty przypadek jest nie ucięty (kompletny) lub 0, jeśli jest ucięty [41].

Wariancja estymatora Kaplan'a–Meier'a przedstawiana jest za pomocą formuły Greenwooda [44]:

$$V[S(t)] = S(t)^2 \sum \frac{d_i}{Y_i(Y_i - d_i)} \quad (5.11)$$

gdzie:

d_i – liczba zdarzeń; Y_i – liczba próbek zagrożonych.

Standardowy błąd estymacji przedstawia się następująco:

$$Std.err. = \sqrt{V[S(T)]} \quad (5.12)$$

Problemem funkcji Kaplan'a–Meier'a jest jej nieciągłość (dyskretny charakter). Oznacza to, że przybliża ona rozkład czasu zdatności za pomocą estymacji empirycznej funkcji niezawodności. Stwarza to pewną niedogodność praktyczną, ponieważ rozkład niezawodności jest zazwyczaj rozkładem ciągłym [26].

6. WYNIKI BADAŃ

6.1. Przebieg badań

Badania prowadzone były w latach 2008-2014 na próbkach 20 autobusów marek krajowych i 22 autobusów marek zagranicznych. Dane rejestrowano w okresie czasu kalendarzowego 72 miesięcy. Odpowiadało to łącznym przebiegom eksploatacyjnym odpowiednio 8,766 mln km dla autobusów krajowych i 9,656 mln km autobusów zagranicznych (średni obserwowany przebieg na koniec 72 miesiąca na 1 autobus wyniósł 438 303 km dla autobusu marki krajowej i 438 942 km dla autobusu marki zagranicznej), tabela 6.1.

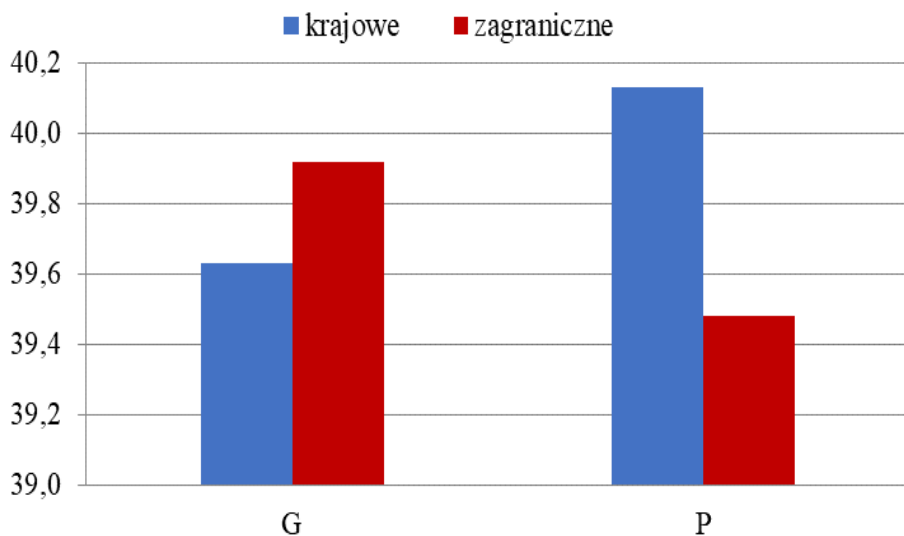
W chwili rozpoczęcia eksploatacji autobusy marki krajowej posiadały przebieg rzędu $l_{sr} = 507$ km (najmniejsza wartość przebiegu $l_{min} = 453$ km, największa $l_{max} = 597$ km). Przy czym wahania skrajnych wartości nie przekraczały 90 km. Autobusy marki zagranicznej posiadały przebieg rzędu $l_{sr} = 1584$ km, a wahania skrajnych wartości nie przekraczały 262 km (tabela 5.3).

Badane autobusy obsługiwały regularne linie komunikacyjne w ruchu miejskim w Lublinie. Średnie dzienne przebiegi wynosiły około 251 km, wahania skrajne nie przekraczały 7 km. Średni miesięczny przebieg wyniósł 6088 km dla autobusów marki krajowej i 6464 km dla autobusów marki zagranicznej (tabela 6.1.).

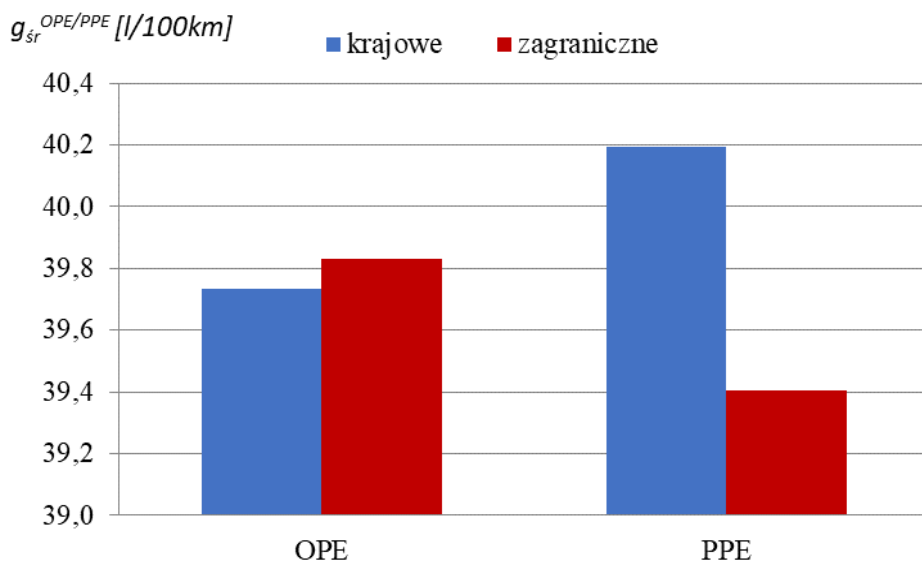
Tab. 6.1. Wskaźniki intensywności użytkowania badanych autobusów w okresie 72 miesięcy eksploatacji [81]

L.p.	nazwa wskaźnika	jednostka miary	wielkość wskaźnika		
			krajowe	zagraniczne	
1	liczba badanych obiektów M	szt.	20	22	
2	sumaryczny przebieg M obiektów w okresie badań L_B	km	8 766 060	9 656 724	
3	przebieg M -tego obiektu w miesiącu	dolna	km	77	130
		średnia	km	6088	6464
		górna	km	8859	8948
5	całkowity czas badań M obiektów T_B	miesiące	72	72	

Na rysunku 6.1. przedstawiono wykres średniego zużycia paliwa w okresie gwarancyjnym (przedział 0–2 lat) i pogwarancyjnym (przedział 3–6 lat). Na rysunku 6.2 przedstawiono wykres średniego zużycia paliwa w okresie „ograniczonej przydatności eksploatacyjnej” autobusów (przedział 0–3 lat) oraz w okresie „pełnej przydatności eksploatacyjnej” (przedział 4–6 lat).



Rys. 6.1. Średnie zużycie paliwa badanych autobusów w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)



Rys. 6.2. Średnie zużycie paliwa autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Tab. 6.2. Wskaźniki zużycia paliwa i płynów eksploatacyjnych badanych autobusów w okresie 72 miesięcy eksploatacji

L.p.	nazwa wskaźnika	jednostka miary	krajowe	zagraniczne
1	średnie zużycie paliwa wg normy	l/100 km	39,99	40,99
2	średnie faktyczne zużycie paliwa	l/100 km	39,97	39,66
3	średnie zużycie paliwa z centralnym ogrzewaniem	l/100 km	41,14	40,93
4	średnie zużycie adblue podane przez producenta	dm ³ /100 km	0,21	1,3
5	średnia ilość zużytego adblue /1m-c	%	0,42	3,56

Charakterystyka zużycia paliwa i innych płynów eksploatacyjnych, w tym m.in. płynu AdBlue zostały zestawione w tabeli 6.2. Średnie zużycie paliwa w okresie miesiąca użytkowania jednego pojazdu dla obu marek autobusów było porównywalne i wyniosło 39,97 l/100km dla autobusów krajowych oraz 39,66 l/100km dla autobusów zagranicznych. W okresach zimowych zużycie paliwa wzrosło średnio o ok. 1,2 l/100km z powodu włączenia układu centralnego ogrzewania. Znaczącą rolę w zużyciu płynów eksploatacyjnych odgrywa płyn AdBlue. Miesięczne zużycie tego płynu wyniosło około 3,56% zużycia paliwa dla autobusów zagranicznych oraz 0,42% dla autobusów krajowych. Norma zużycia płynu AdBlue wynosi 5%.

6.2. Gotowość techniczna

6.2.1. Metodyka obliczeń gotowości technicznej

Gotowością obiektu technicznego nazywamy zdolność obiektu do terminowego przystąpienia do realizacji planowanych zadań [9], [38]. Uszkodzenie obiektu oznacza jego przejście do stanu naprawy. Po dokonaniu naprawy obiekt ponownie przechodzi do stanu zdatności i jest gotowy do realizacji zadania. Zakłada się, że w czasie naprawy dokonuje się pełna odnowa obiektu.

W pracach [114] i [54] Woropay i inni przedstawili wiele podziałów gotowości systemu technicznego wraz z ich definicjami. Gotowość funkcjonalna definiowana jest jako charakterystyka obiektu, wyznaczająca prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że w dowolnie wybranej chwili t , $t \in \langle t_i, t_j \rangle$, $t_i, t_j \geq 0$, $t_j \gg t_i$, stan obiektu będzie należał do zbioru stanów zdatności funkcjonalnej [54].

Wskaźnik gotowości funkcjonalnej obiektu K_g obliczany jest najczęściej za pomocą następującego wzoru: [9], [114], [31], [54]

$$K_g = \frac{E(T_k)}{E(T_k) + E(T_n)} \quad (6.1)$$

gdzie:

$E(T_k)$ – wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy obiektu technicznego; $E(T_n)$ – wartość oczekiwana czasu naprawy obiektu technicznego.

Gotowość techniczna to iloraz sumarycznego czasu przebywania obiektu w stanach gotowości do działania do sumarycznego czasu przebywania obiektu w stanach gotowości i stanach niegotowości do działania, wg zależności: [114] i [34].

$$K_{gt} = \frac{T_g}{T_g + T_n} \quad (6.2)$$

gdzie:

T_g – wartość średnich czasów przebywania obiektu technicznego w stanie gotowości do działania; T_n – wartość średnich czasów przebywania obiektu technicznego w stanie niegotowości do działania.

Wskaźnik ten interpretowany jest jako prawdopodobieństwo zdolności do podjęcia pracy w określonym czasie [52]. Na podstawie analizy literatury [3], [31] i [8] oraz materiałów zebranych w MPK w Lublinie przyjęto w niniejszej pracy, iż gotowość techniczna będzie definiowana według następującego wzoru:

$$K_g(t) = \frac{N_z - N_n}{N_z} \times 100 = \frac{N_{gt}}{N_z} \times 100 \quad (6.3)$$

gdzie:

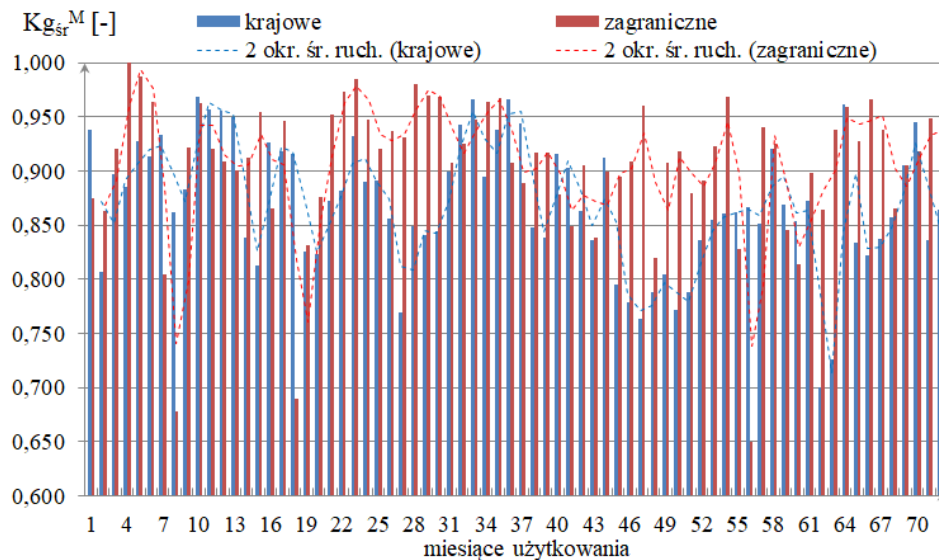
N_z – wozodni inwentarzowe; N_n – wozodni przestojów technicznych; N_{gt} – wozodni gotowości technicznej, suma dni w czasie których pojazd jest w pełni sprawny do eksploatacji.

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

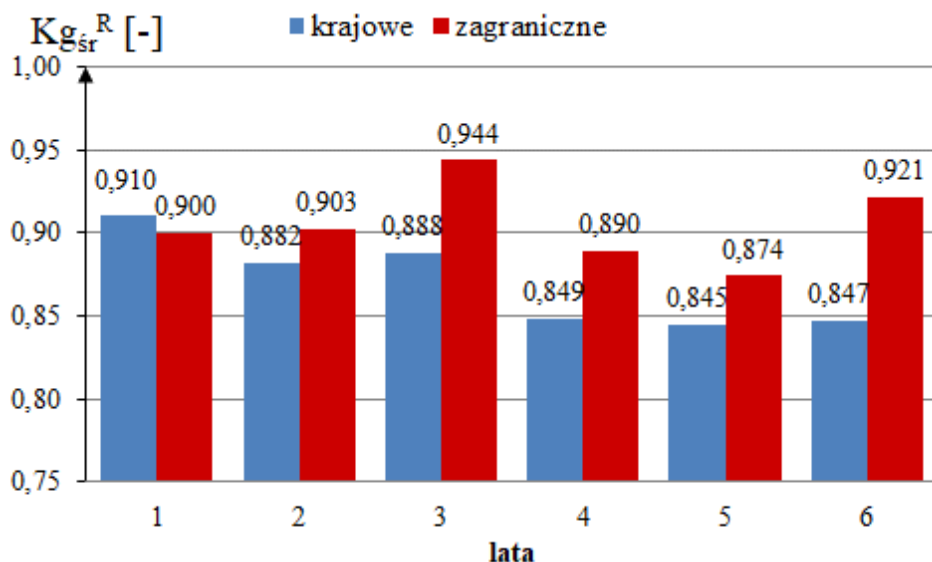
6.2.2. Charakterystyki gotowości technicznej w funkcji czasu użytkowania

Wskaźniki gotowości technicznej autobusów marki krajowej i zagranicznej przedstawiono w zależności od czasu kalendarzowego. Na rysunku 6.3 zaprezentowano wykres gotowości w ujęciu miesięcznym. W początkowym okresie eksploatacji (do 27 miesiąca eksploatacji) gotowość pojazdów marki krajowej wyniosła średnio 0,890. Następnie wskaźnik ten malał, osiągając w 62 miesiącu wartość minimalną 0,700. Średnia gotowość techniczna dla całego badanego okresu eksploatacji wyniosła 0,870 dla autobusów krajowych i 0,905 dla autobu-

sów zagranicznych. Średnia gotowość autobusów zagranicznych była wyższa o 3,5%, przy odchyleniu standardowym równym 0,066. Warto zauważyć, iż w 8 i 56 miesiącu eksploatacji gotowość techniczna autobusów zagranicznych osiągnęła niskie wartości, odpowiednio 0,712 i 0,649, co było spowodowane koniecznością długiego oczekiwania na części zamienne.



Rys. 6.3. Gotowość techniczna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym [78]

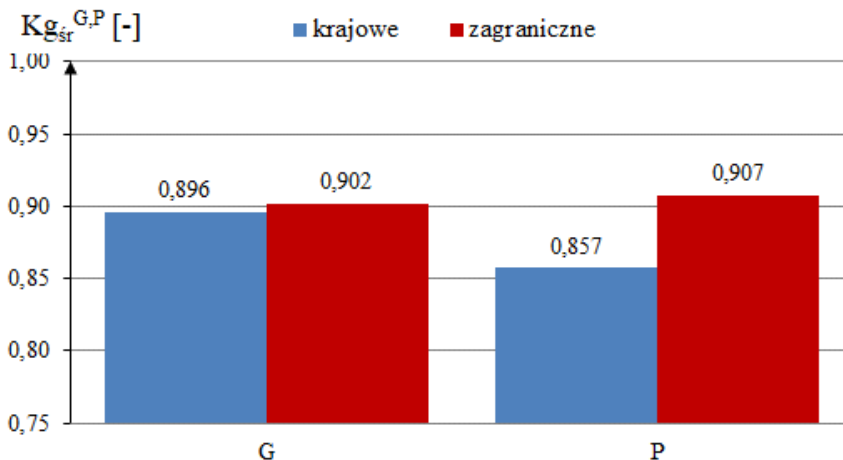


Rys. 6.4. Średnia gotowość techniczna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym [77]

Do porównania, która z marek pojazdów miała wyższą gotowość techniczną posłużono się analizą wariancji, która została zaprezentowana w rozdziale 6.2.3. Szczegółowe statystyki opisowe gotowości autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji miesięcy użytkowania przedstawione zostały z Załączniku nr 3.

Tab. 6.3. Statystyki opisowe gotowości technicznej autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym [77]

lata	Gotowość techniczna K_{gr}^R [-]									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
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



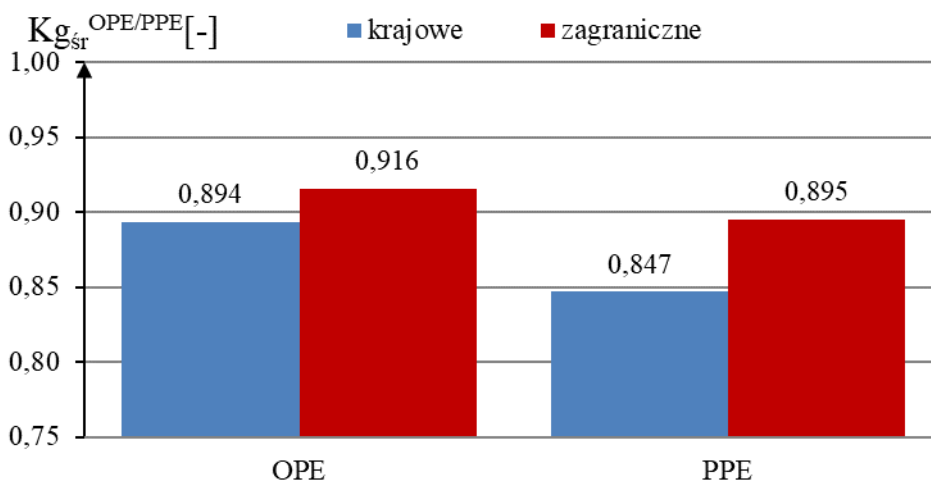
Rys. 6.5. Średnia gotowość techniczna autobusów w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Wyniki obliczeń średniej gotowości autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym przedstawiono na rysunku 6.4, a ich statystyki opisowe w tabeli 6.3. Ciągły spadek gotowości technicznej w całym 6-letnim okresie użytkowania można zauważyć dla autobusów marki krajowej, przy współczynniku zmienności równym 0,061 i odchyleniu standardowym równym średnio 0,053. Dla autobusów zagranicznych średnia gotowość techniczna maleje dopiero po okresie 3 lat, czyli po okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej.

Średnie odchylenie standardowe w całych 6 latach eksploatacji wyniosło 0,056, a współczynnik zmienności równy był 0,063.

Tab. 6.4. Statystyki opisowe gotowości technicznej autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

okres	marka	Gotowość techniczna $Kg_{sr}^{G/P}$ [-]				
		średnia	odch. stan.	wsp. zmie	w. min	w. max
G	krajowe	0,896	0,047	0,053	0,807	0,968
P		0,857	0,061	0,071	0,700	0,967
G	zagraniczne	0,902	0,082	0,091	0,677	1,000
P		0,907	0,056	0,062	0,649	0,981



Rys. 6.6. Średnia gotowość techniczna autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Tab. 6.5. Statystyki opisowe gotowości technicznej autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

okres	marka	Gotowość techniczna $Kg_{sr}^{OPE/PPE}$ [-]				
		średnia	odch. stan.	wsp. zmie	w. min	w. max
OPE	krajowe	0,894	0,051	0,057	0,769	0,968
PPE		0,847	0,058	0,069	0,700	0,962
OPE	zagraniczne	0,916	0,071	0,078	0,677	1,000
PPE		0,895	0,058	0,065	0,649	0,968

Jak wynika z rysunku 6.5 oraz tabeli 6.4 gotowość autobusów w okresie pogwarancyjnym (3–6 lat) jest niższa niż w okresie gwarancyjnym (0–2 lat) dla autobusów krajowych. Dla tych autobusów gotowość w okresie pogwarancyjnym zmniejszyła się o prawie 4%, a dla autobusów zagranicznych o 0,5%, przy odchyleniu standardowym równym 0,06 dla obu analizowanych marek pojazdów (tabela 6.4).

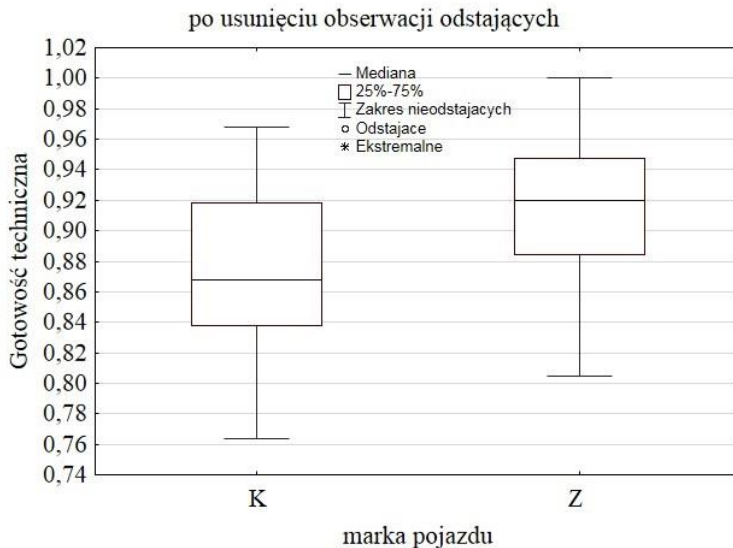
W obserwowanym okresie 6 lat użytkowania wyróżniono: „okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej”, obejmujący pierwsze 3 lata użytkowania pojazdów oraz „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej”, obejmujący kolejne 3 lata użytkowania (4–6 lat). Wyniki obliczeń średniej gotowości autobusów w wyróżnionych przedziałach czasu użytkowania przedstawiono na rysunku 6.6. oraz w tabeli 6.5. Większy spadek gotowości można zauważyć dla „okresu pełnej przydatności eksploatacyjnej”, czyli w okresie 4–6 lat eksploatacji pojazdów. Dla autobusów krajowych gotowość w tym okresie spadła o 4,7%, a dla autobusów zagranicznych o ponad 2% (rysunek 6.6) w stosunku do „okresu ograniczonej przydatności eksploatacyjnej”, czyli w pierwszych 3 lat użytkowania pojazdów. Odchylenie standardowe wyniosło 0,058 dla obu analizowanych marek pojazdów.

6.2.3. Porównanie autobusów – analiza wariancji

W dalszej części pracy porównano gotowość autobusów posługując się analizą wariancji ANOVA i wykorzystując pakiet komputerowy STATISTICA 10.0. Ocenę różnic gotowości technicznej autobusów przeprowadzono stosując test jednoczynnikowej analizy wariancji w kilku okresach użytkowania pojazdów. W przeprowadzonym teście czynnikami klasyfikującymi była „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była średnia gotowość techniczna w ujęciu miesięcznym.

Przed przystąpieniem do analizy sprawdzono, czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy po usunięciu obserwacji odstających przedstawiono na rysunku 6.7.

ANOVA wymaga, aby spełnione były cztery założenia: niezależność zmiennych, mierzalność, normalność rozkładu w grupach oraz jednorodność wariancji. Pierwsze dwa założenia są spełnione. Kolejny warunek analizy wariancji, tzn. rozkład normalny wyników sprawdzono za pomocą testu W Shapiro–Wilka (rysunek 6.8.). W obu analizowanych markach pojazdów otrzymano zadawalający poziom istotności, $p > \alpha = 0,05$. Zatem stwierdzono, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu.

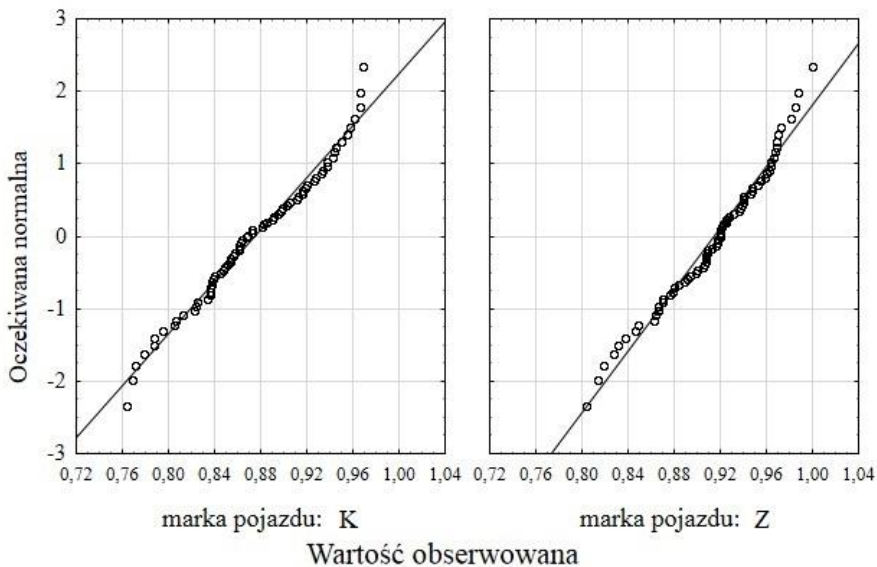


Rys. 6. 7. Wykres ramka -wały zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania po usunięciu obserwacji odstających

Skategoryzowane wykresy normalności

marka pojazdu: K Gotowość techniczna: SW-W = 0,9729; p = 0,1334

marka pojazdu: Z Gotowość techniczna: SW-W = 0,9717; p = 0,1141



Rys. 6. 8. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania

Tab. 6.6. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
		MS Efekt	MS Błąd	F	p
gotowość techniczna	marka pojazdu	0,0028	0,0008	3,5243	0,0626

Tab. 6.7. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
		Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
gotowość techniczna	marka pojazdu	1,4142	0,5858	2,047	1	0,1525

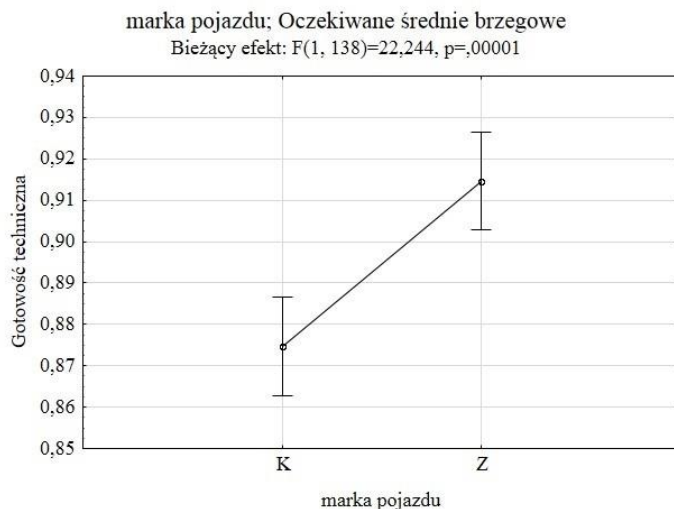
Drugie sprawdzenie dotyczyło założenia o jednorodności wariancji. Wykorzystano tu testy: Test Levene'a i Bartletta, Hartleya i Cochra na. W teście Levene'a dla każdej ze zmiennych zależnych przeprowadzana była analiza wariancji na podstawie bezwzględnych odchyłeń wartości od średnich grupowych [73].

Im wyższa jest wartość poziomu ufności p , tym silniejszy jest dowód na istnienie jednorodności wariancji wyników dla poszczególnych czynników klasyfikujących. Wartość prawdopodobieństwa bliska „0” i $p < 0,05$ skłania do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji.

Tabele 6.6 i 6.7 przedstawiają wartości prawdopodobieństwa testów Levene'a, Hartleya, Bartletta i Cochra na. Jak widać testy te nie przyniosły żadnych istotnych statystycznie wyników, gdyż poziom prawdopodobieństwa testowego $p > 0,05$. Zatem można stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji są spełnione.

Tab. 6.8. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
	SS	stopnie swobody	MS	F	p
wyraz wolny	112,055	1	112,055	44599,9	0,0000
marka pojazdu	0,0559	1	0,0559	22,24	0,0000
błąd	0,3467	138	0,0025		



Rys. 6. 9. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania

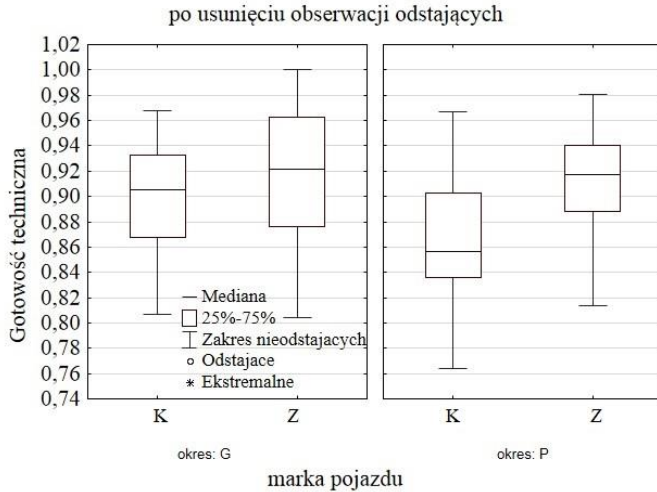
Badając wpływ czynnika „marka pojazdu” na wynik średniej miesięcznej gotowości technicznej pojazdów w okresach czasu użytkowania 72 miesięcy przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji. W przypadku wartości statystyki $F = 22,24$ z odczytaną wartością krytyczną $p = 0,00$ zaobserwowano zachodzenie nierówności $F > p$. Z tabeli 6.8 wynika, że poziom istotności p dla marki pojazdu 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 w obu analizowanych autobusach. Wyniki te potwierdza również wykres interakcji (rysunek 6.9) na którym przedziały ufności nie zachodzą na siebie. Na wykresie przedstawiono przedziały ufności na poziomie 95% oraz wartości średnie gotowości technicznej.

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji z podziałem na okres gwarancyjny i pogwarancyjny. 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 gwarancyjnym i pogwarancyjnym przedstawiono na rysunku 6.10.

Zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione zostały dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 6.11. W teście W Shapiro–Wilka poziom istotności we wszystkich czterech przypadkach spełniał warunek, $p > \alpha = 0,05$, tym samym stwierdzono, że nie ma

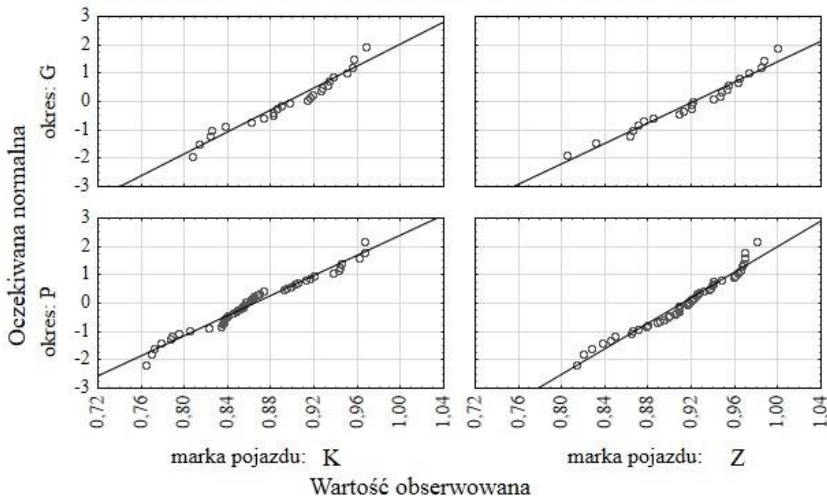
podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o normalności rozkładów danych w rozpatrywanych zbiorach.



Rys. 6. 10. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) po usunięciu obserwacji odstających [78]

Skategoryzowane wykresy normalności

marka pojazdu: K okres: G Gotowość techniczna: SW-W = 0,9406; p = 0,1680
 marka pojazdu: K okres: P Gotowość techniczna: SW-W = 0,9637; p = 0,1601
 marka pojazdu: Z okres: G Gotowość techniczna: SW-W = 0,9589; p = 0,4414
 marka pojazdu: Z okres: P Gotowość techniczna: SW-W = 0,9584; p = 0,0925



Rys. 6. 11. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [78]

Tab. 6.9. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [78]

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne $z p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
G	gotowość techniczna	marka pojazdu	0,0000	0,0008	0,0422	0,8380
P			0,0019	0,0009	2,1249	0,1484

Tab. 6.10. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochрана zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [78]

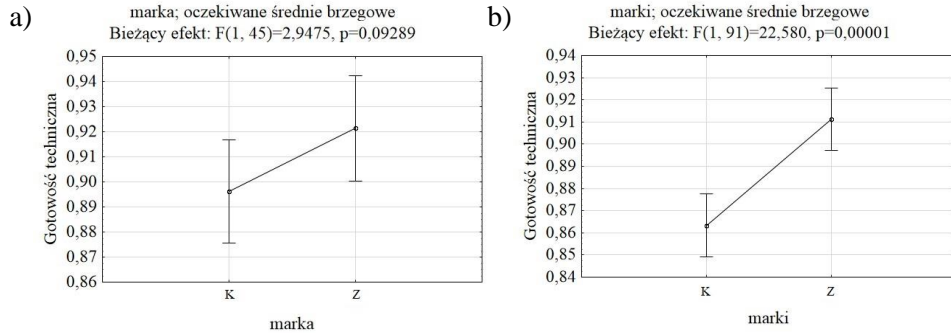
Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
G	gotowość techniczna	marka pojazdu	1,1540	0,5357	0,1129	1	0,737
P			1,6325	0,6201	2,6802	1	0,102

Tab. 6.11. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [78]

Okres eksploatacji	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	stopnie swobody	MS	F	p
G	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		
P	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		

Drugim sprawdzonym założeniem było założenie o jednorodności wariancji. Tabela 6.9 i 6.10 przedstawiają wartość prawdopodobieństw (poziomów ufności) uzyskanych w testach: Levene'a, Hartleya, Bartletta i Cochra na dla czynnika klasyfikującego „marka pojazdu” z podziałem na okresy: gwarancyjny i pogwarancyjny. Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, ponieważ $p > 0,05$. Założenie jednorodności wariancji jest zatem spełnione we wszystkich przypadkach.

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika „marka pojazdu” na wynik gotowości technicznej pojazdów w okresach czasu użytkowania: gwarancyjnym i pogwarancyjnym. Z tabeli 6.11 wynika, że poziom istotności p dla marki pojazdu w okresie gwarancyjnym jest większy od założonego, czyli $p = 0,0929$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Średnia gotowość techniczna w okresie gwarancyjnym dla autobusów obu analizowanych marek nie różni się istotnie.



Rys. 6. 12. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „marka pojazdu” w okresie a) gwarancyjnym i b) pogwarancyjnym autobusów krajowych (K) i zagranicznych (Z) [78]

W przypadku okresu pogwarancyjnego, poziom istotności $p < 0,05$. Należy zatem odrzucić hipotezę zerową o równości średnich. Oznacza to istotną różnicę w gotowości autobusów krajowych i zagranicznych. Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rysunek 6.12).

Kolejny etap analizy przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres gwarancyjny i pogwarancyjny. W przeprowadzonym teście zmienną zależną była gotowość techniczna dla dwóch analizowanych marek autobusów.

Zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki testu normalności potwierdzono zgodnie z rysunkiem 6.11. Tabela 6.12 i 6.13 przedstawia wartości prawdopodobieństw testów założeń jednorodności wariancji dla efektu klasyfikującego „okres eksploatacji”.

Tab. 6.12. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny i pogwarancyjny dla autobusów krajowych i zagranicznych [78]

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

Tab. 6.13. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochran'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny i pogwarancyjny dla autobusów krajowych i zagranicznych [78]

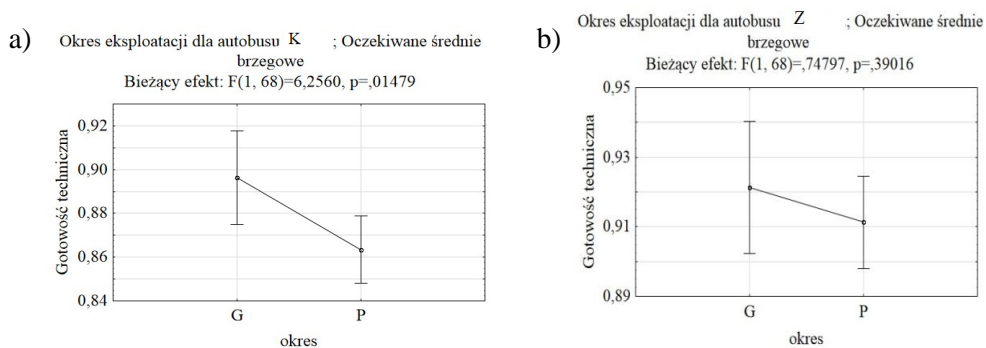
Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
krajowe	gotowość techniczna	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	1,2641	0,5583	0,3999	1	0,5271
zagraniczne			1,4903	0,5984	1,2134	1	0,2707

Tab. 6.14. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny i pogwarancyjny dla autobusów krajowych i zagranicznych [78]

Marka pojazdu	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	stopnie swobody	MS	F	p
krajowe	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		
zagraniczne	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		

Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, $p > 0,05$. Założenie jednorodności wariancji jest zatem spełnione we wszystkich czterech przypadkach.

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” na wynik gotowości technicznej pojazdów marki krajowych i zagranicznych. Z tabeli 6.14 wynika, że poziom istotności p dla marki krajowej jest mniejszy od założonego, czyli $p = 0,0148$, zatem należy odrzucić hipotezę zerową o równości średnich. Oznacza to istotną różnicę w gotowości technicznej autobusów krajowych w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym. Dla marki zagranicznej p jest większe od założonego, czyli $p = 0,3902$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Średnia gotowość techniczna autobusu zagranicznego w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym nie różni się istotnie. Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rysunek 6.13).

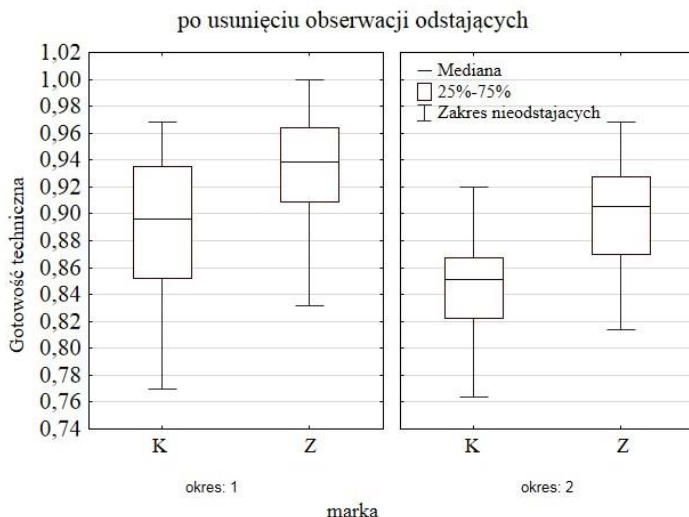


Rys. 6. 13. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” – gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów marki a) krajowe, b) zagraniczne [78]

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji z podziałem na „okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej” i „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej”. W przeprowadzonym teście czynnikiem klasyfikującym była „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była gotowość techniczna w danym okresie eksploatacji. Sprawdzone czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączone je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy po usunięciu obserwacji odstających w okresie granicznej i pełnej przydatności eksploatacyjnej przedstawiono na rysunku 6.14.

Założenia niezależność zmiennych oraz mierzalność zostały spełnione. Normalność rozkładu zmiennych sprawdzono, tworząc skategoryzowane wykresy normalności dla każdej z marek pojazdu i przedstawiono na rysunku 6.15.

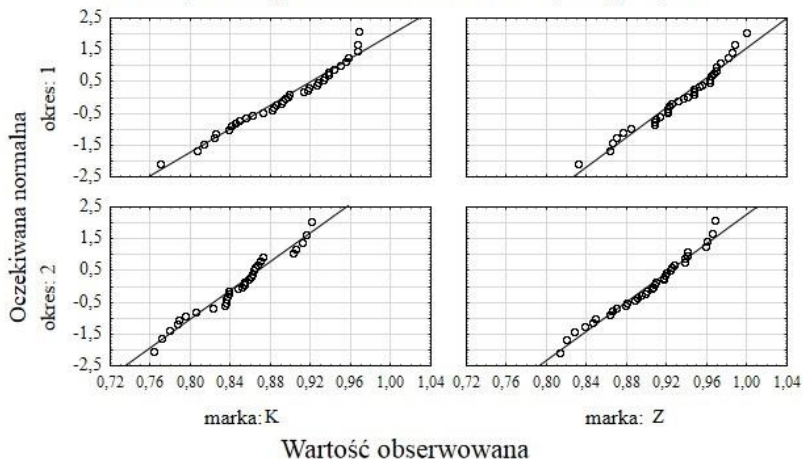
W teście W Shapiro–Wilka poziom istotności we wszystkich czterech przypadkach jest większy od założonego, $p > \alpha = 0,05$. Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji.



Rys. 6. 14. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) po usunięciu obserwacji odstających [77]

Skategoryzowane wykresy normalności

marka: K, okres: 1 gotowość techniczna: SW-W = 0,961; $p = 0,2316$
 marka: K, okres: 2 gotowość techniczna: SW-W = 0,9566; $p = 0,2367$
 marka: Z, okres: 1 gotowość techniczna: SW-W = 0,9602; $p = 0,2461$
 marka: Z, okres: 2 gotowość techniczna: SW-W = 0,9666; $p = 0,3569$



Rys. 6. 15. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) [77]

Drugim sprawdzonym założeniem jest założenie o jednorodności wariancji. Tabela 6.15. i 6.16. przedstawia wartość prawdopodobieństw tych testów dla efektu klasyfikującego jakim jest „marka pojazdu”. Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Można zatem stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji są spełnione we wszystkich analizowanych przypadkach.

Tab. 6.15. Wyniki testu Levene’a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Test Levene’a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
OPE	gotowość techniczna	marka pojazdu	0,0016	0,0007	2,2678	0,1367
PPE			0,0000	0,0006	0,0079	0,9295

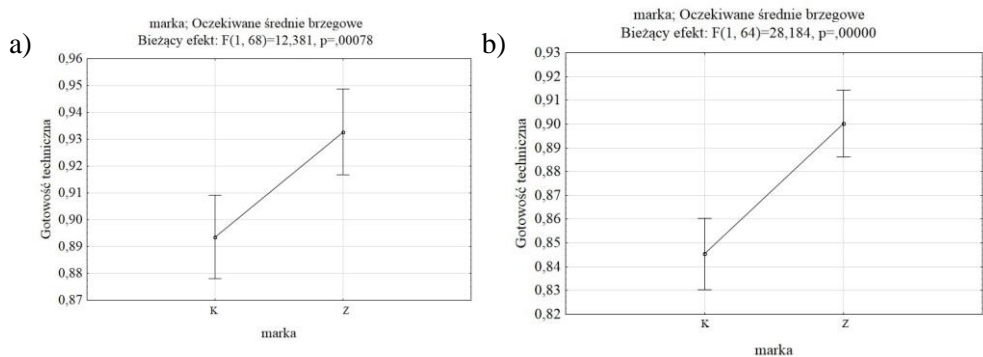
Tab. 6.16. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochran’a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
OPE	gotowość techniczna	marka pojazdu	1,6105	0,6169	1,8744	1	0,1709
PPE			1,0318	0,5078	0,0077	1	0,9302

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika „marka pojazdu” na wynik gotowości technicznej pojazdów w okresach czasu użytkowania: ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej. Z tabeli 6.17 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 (rysunek 6.16).

Tab. 6.17. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Okres eksploatacji	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	stopnie swobody	MS	F	p
OPE	wyraz wolny	58,32	1	58,320	26956,3	0,0000
	marka pojazdu	0,0267	1	0,0267	12,38	0,0008
	błąd	0,1471	68	0,0022		
PPE	wyraz wolny	50,09	1	50,093	28571,9	0,0000
	marka pojazdu	0,0494	1	0,0494	28,18	0,0000
	błąd	0,1122	64	0,0018		



Rys. 6. 16. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „marka pojazdu” w okresie a) ograniczonej przydatności eksploatacyjnej, b) pełnej przydatności eksploatacyjnej autobusów marek krajowych (K) i zagranicznych (Z) [77]

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono analizę wariancji dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej. W przeprowadzonym teście zmienną zależną była gotowość techniczna dla dwóch analizowanych marek autobusów.

Tab. 6.18. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	<i>F</i>	<i>p</i>
krajowe	gotowość techniczna	OPE i PPE	0,0000	0,0012	0,0577	0,8109
zagraniczne			0,0000	0,00176	0,0078	0,9299

Tab. 6.19. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

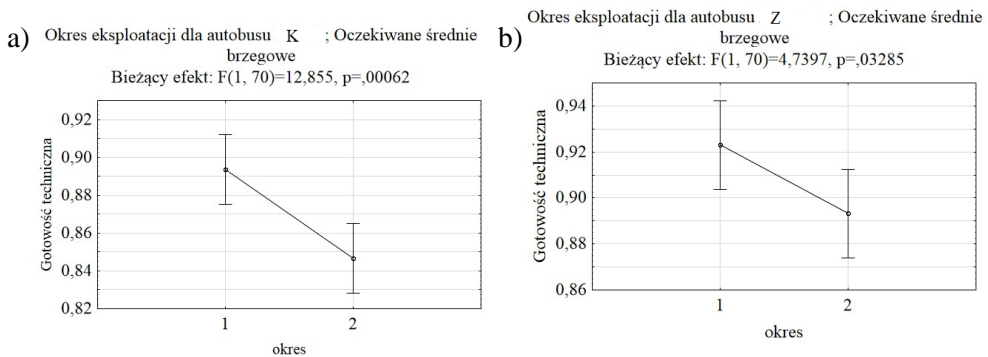
Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	<i>p</i>
krajowe	gotowość techniczna	OPE i PPE	1,3198	0,5689	0,6623	1	0,4158
zagraniczne			1,0342	0,5084	0,0098	1	0,9213

Tab. 6.20. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – gotowość techniczna dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [77]

Marka pojazdu	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: gotowość techniczna Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	stopnie swobody	MS	F	<i>p</i>
krajowe	wyraz wolny	54,52	1	54,52	17793,30	0,0000
	OPE i PPE	0,0394	1	0,0394	12,86	0,0006
	błąd	0,2145	70	0,0031		
zagraniczne	wyraz wolny	59,38	1	59,38	17622,55	0,0000
	OPE i PPE	0,0159	1	0,0159	4,74	0,0329
	błąd	0,2359	70	0,0034		

Ponownie, pierwsze dwa założenia analizy wariancji zostały spełnione, czyli zmienne są mierzalne i niezależne. Wyniki testu normalności potwierdzono zgodnie z rysunkiem 6.15. Tabele 6.18 i 6.19 przedstawiają wartości prawdopodobieństw testów założeń jednorodności wariancji dla efektu klasyfikującego „okres eksploatacji”. Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla wszystkich testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia 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 krajowej i zagranicznej. Z tabeli 6.20. wynika, że poziom istotności p dla marki krajowej i zagranicznej jest mniejszy od założonego, czyli odpowiednio $p = 0,0006$ oraz $p = 0,033$. Zatem należy odrzucić hipotezę zerową o równości średnich. Oznacza to istotną różnicę w gotowości technicznej pomiędzy dwoma analizowanymi okresami eksploatacji dla autobusów marki krajowej i zagranicznej. Wyniki testów analizy wariancji potwierdzają również wykresy interakcji (rysunek 6.17).



Rys. 6. 17. Wykres interakcji gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” – ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) autobusów marki a) krajowej, b) zagranicznej [77]

6.2.4. Podsumowanie analizy gotowości

Podsumowując wyniki analizy gotowości oraz na podstawie przeprowadzonych badań analizy wariancji, gdzie badano wpływ, takich czynników jak „marka pojazdu” i „okres eksploatacji” na wynik średniej gotowości technicznej sformułowano syntetyczne wnioski.

Stwierdzono, że wartość wskaźnika gotowości podsystemu wykonawczego transportu miejskiego uzależniona była od zakresu i organizacji napraw uszkodzonych autobusów. W obu badanych pojazdach największa liczba przyczyn przestojów związana była z naprawami bieżącymi.

Gotowość techniczna obu marek była różna, mimo mniejszej sumarycznej liczby uszkodzeń pojazdów zagranicznych. Jednak w tym przypadku, większy był czas oczekiwania na części zamienne.

Badając wpływ czynnika „marka pojazdu” w całym okresie użytkowania, czyli 72 miesiące, poziom istotności p dla obu marek pojazdów uznano jako mniejszy od założonego, czyli $p = 0,0000 < 0,05$ (tabela 6.8). Oznacza to istotną różnicę w gotowości technicznej pomiędzy markami krajowymi i zagranicznymi.

Następnie zbadano wpływ czynnika „marka pojazdu” w poszczególnych okresach użytkowania (tabele: 6.9; 6.10; 6.11), w okresie gwarancyjnym stwierdzono, że analizowane marki autobusów pod względem gotowości nie różnią się istotnie między sobą ($p = 0,0929$). Podczas gdy w okresach: pogwarancyjnym ($p = 0,0000$), ograniczonej przydatności eksploatacyjnej ($p = 0,0008$) i pełnej przydatności eksploatacyjnej ($p = 0,0000$) gotowość techniczna poszczególnych marek autobusów różniła się istotnie między sobą (tabele: 6.15; 6.16; 6.17).

Tab. 6.21. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średniej miesięcznej gotowości technicznej dla czynnika „marka pojazdu” w danym okresie eksploatacji

Okres eksploatacji	krajowe/zagraniczne
72 miesiące użytkowania	+
gwarancyjny (G)	-
pogwarancyjny (P)	+
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)	+
pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	+
+ różnią się istotnie; - nie różnią się istotnie	

Tab. 6.22. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średniej miesięcznej gotowości technicznej dla czynnika „okres eksploatacji” dla autobusów krajowych i zagranicznych

Okres eksploatacji	Marka pojazdu	
	krajowe	zagraniczne
gwarancyjny (G) / pogwarancyjny (P)	+	-
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) / pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	+	+
+ różnią się istotnie; - nie różnią się istotnie		

W okresie gwarancyjnym średnia gotowość techniczna autobusów krajowych wyniosła 0,896, a autobusów zagranicznych 0,902. Względna różnica średnich

wyniosła 0,6%. W okresie pogwarancyjnym średnia gotowość techniczna autobusów krajowych wyniosła 0,857, a autobusów zagranicznych 0,907.

Podobnie, badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” (tabele: 6.12.; 6.13.; 6.14.; 6.18.; 6.19.; 6.20.) stwierdzono, że w przypadku autobusów marki krajowej w poszczególnych okresach użytkowania oraz autobusów marki zagranicznej w okresie ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej gotowość techniczna pomiędzy tymi okresami różniła się istotnie. Brak było natomiast istotnej różnicy w gotowości technicznej analizowanych autobusów marki zagranicznej w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym ($p = 0,3902$).

W okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej średnia gotowość techniczna autobusów krajowych wyniosła 0,894, a autobusów zagranicznych 0,916. Względna różnica średnich wyniosła 2,2%. W okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej średnia gotowość techniczna autobusów krajowych wyniosła 0,847, a autobusów zagranicznych 0,895.

Taka analiza gotowości technicznej z wyróżnieniem okresu gwarancyjnego i pogwarancyjnego oraz okresu ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej pozwala na wykorzystanie tego wskaźnika przy ocenie efektywności eksploatacyjnej. Ma to duże znaczenie przy wyborze marki pojazdu w związku z zakupem nowych autobusów.

6.3. Koszty eksploatacji

6.3.1. Charakterystyka ogólna kosztów eksploatacji

Poprawnie przeprowadzona analiza kosztów wykonywania zadań przewoźnych w systemach transportowych jest podstawowym elementem racjonalizacji przewozów, w tym doboru typów środków transportowych, czy parametrów potoków ruchu w sieci transportowej, optymalizacji tras transportu, organizacji magazynów [16], [91].

W przedsiębiorstwie transportowym na koszty eksploatacji składa się pięć czynników, które zostaną przedstawione w poniższym wzorze: [29]

$$K_e = K_u + K_o + K_z + K_{os} + K_d \quad (6.4)$$

gdzie:

K_e – koszty eksploatacji samochodów ujęte w czasie (doby, tygodnia, miesiąca czy roku) zgodne z ustalonym systemem bilansowania wydatków i przychodów;
 K_u – koszty użytkowania; K_o – koszty obsługiwanania; K_z – koszty zasilania (zaopatrzenia) systemu eksploatacji samochodów; K_{ob} – koszty osobowe; K_d – koszty dodatkowe różne w czasie i różnych warunkach pełnienia usług transportowych.

Roczny zysk z prowadzenia działalności stanowi zatem różnicę pomiędzy roczną wielkością przychodu brutto, a rocznymi kosztami ogółem, co można wyrazić wzorem:

$$Z = P - K \quad (6.5)$$

gdzie:

Z – roczny zysk z prowadzenia działalności gospodarczej; P – roczny przychód brutto z prowadzenia działalności gospodarczej; K – roczne koszty prowadzenia działalności gospodarczej.

Koszty stanowią jeden z najistotniejszych czynników konkurencyjności przewoźników na rynku transportu samochodowego. Aby umożliwić porównanie pozycji firmy transportowej na rynku oraz określenie stawki przewozowej, do obliczeń wykorzystywany jest wozokilometr. Jest to jednostka miary w transporcie określająca długość drogi wykonywanej przez środki transportu w określonym czasie. Koszt 1 wozokilometra to wskaźnik wyznaczający prawidłowe funkcjonowanie transportu jako kryterium obiektywne, które stanowi podstawę rozliczeń określonych zadań przewozowych.

Tab. 6.23. Koszty w układzie kalkulacyjnym w transporcie samochodowym [8]

Podział kosztów		Elementy kosztów	Miernik kosztów	Koszt jedn. w zł
Koszty bezpośrednie	Koszty zależne od przebiegu	materiały pędne, oleje, smary Ogumienie naprawy bieżące, serwis Opłaty drogowe Pozostałe razem koszty zależne od przebiegu	km	zł/km
	Koszty niezależne (stałe)	płace kierowców z narzutami Amortyzacja pojazdów Leasing ubezpieczenia komunikacyjne, inne opłaty pozostałe (np. koszty zezwoleń) razem koszty niezależne od przebiegu	godz.	zł/godz.
Koszty pośrednie		pozostałe koszty działalności transportowej	%	x
x		ogółem koszty	tkm (tonokilometr)	zł/km

Dominującymi składnikami kosztów w przedsiębiorstwie transportowym są: [48]

- amortyzacja pojazdów samochodowych jak i innych środków trwałych,
- zużycie materiałów jezdnych oraz olejów, smarów czy ogumienia,
- koszty napraw i obsługa eksploatacyjna,
- wynagrodzenia pracowników oraz wszelkie ubezpieczenia, opłaty związane z nimi,
- wyjazdy służbowe,

- ubezpieczenia pojazdów oraz ładunków.
- W układzie kalkulacyjnym wyróżnia się dwie podstawowe kategorie kosztów:
- koszty bezpośrednie,
 - koszty pośrednie.

Tabela 6.23 przedstawia koszty w układzie kalkulacyjnym dla przewozów w transporcie samochodowym. Zastosowano tu dodatkowy podział na koszty zależne i niezależne od odległości przewozowej, czyli od przebiegu pojazdu [62].

6.3.2. Charakterystyka kosztów użytkowania

Koszty utrzymania samochodu można podzielić na koszty utrzymania zależne i niezależne od jego przebiegu eksploatacyjnego według poniższego wyrażenia [68]:

$$C_{ts} = C_{tp} + C_m \quad (6.6)$$

gdzie:

C_{ts} – koszt utrzymania samochodu [zł]; C_{tp} – koszty utrzymania samochodu zależne od przebiegu [zł]; C_m – koszty utrzymania samochodu niezależne od przebiegu [zł].

Koszty niezależne (stałe) cechują się regularną wartością, która nie jest zależna od skali realizacji usług. Wymienić możemy tu: amortyzację środków trwałych (nieruchomości, pojazdów, wartości materialnych i prawnych) oraz podatki i opłaty ubezpieczeniowe, czynsze, koszty dzierżawy oraz usługi świadczone przez zewnętrznych dostawców (np. remonty, usługi informatyczne czy telekomunikacyjne), wynagrodzenia personelu, delegacje, szkolenia. Wśród tych kosztów największy udział mają koszty amortyzacji, m.in. dotyczące taboru czy też infrastruktury punktowej (zajeżdnie, stacje kontroli pojazdów) [4]. Szczegółowa charakterystyka tych kosztów w odniesieniu do badanej próby autobusów została przedstawiona w tabeli 6.24. Największy udział w kosztach stałych mają koszty zużycia materiałów i energii (31,5%) oraz wynagrodzenia pracowników biurowych i kierowców autobusów (44,7%).

Tab. 6.24. Zestawienia kosztów stałych utrzymania badanej próby autobusów w 2009 r.

Rodzaje kosztów	Wartość	
	[zł]	[%]
amortyzacja	6 789 215	6,3
zużycie materiałów i energii	33 876 169	31,5
podatki i opłaty	2 629 102	2,4
usługi obce	4 021 538	3,8
wynagrodzenia	48 067 443	44,7
ubezpieczenia społeczne i inne świadczenia	10 294 582	9,6
pozostałe koszty rodzajowe	1 820 183	1,7
suma	107 498 232	100

Koszty amortyzacji zależą głównie od rodzaju środka trwałego i przypisanej do niego, zgodnie z ustawą procentowej stawki amortyzacyjnej. Tabela 6.24. przedstawia łączny koszt amortyzacji dla badanej próby autobusów krajowych i zagranicznych na przestrzeni 12 miesięcy ich eksploatacji. Przedstawiono również łączny koszt ubezpieczeń OC, AC i majątkowych autobusów obu marek. Ubezpieczenia te stanowią prawie 10% wartości kosztów stałych.

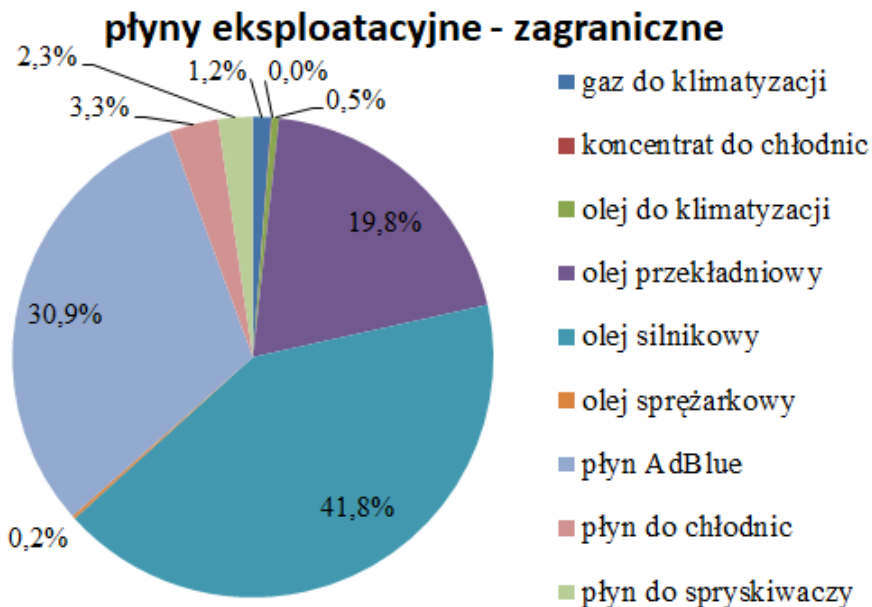
Do kosztów zmiennych utrzymania autobusów, które są zależne od przebiegu zalicza się: zużycie materiałów pędnych (koszty materiałów, koszty olejów itp.), ogumienia oraz materiałów i energii. Koszty te przedstawione zostały w tabeli 6.25.

Tab. 6.25. Koszty zużytego paliwa, ogumienia, olejów i części zamiennych badanej próby autobusów w okresie 72 miesięcy eksploatacji przypadające na 1 autobus

Koszty:		Krajowe		Zagraniczne	
		[zł]	[%]	[zł]	[%]
zużytego paliwa	C_{PALsum}^{ca}	490 509	86,8	541 478	85,1
	$C_{PALsr}^{cał}$	6 813	–	7 521	–
ogumienia	C_{OGsum}^{ca}	7 913	1,4	8 556	1,3
	$C_{OGsr}^{cał}$	110	–	119	–
płynów eksploatacyjnych	C_{PEsum}^{ca}	7 167	1,3	12 100	1,9
	$C_{PEsr}^{cał}$	99,5	–	168	–
obsług	C_{Osum}^{ca}	11 818	2,1	12 095	1,9
	$C_{Osr}^{cał}$	164	–	168	–
napraw	C_{Nsum}^{ca}	47 444	8,4	62 291	9,8
	$C_{Nsr}^{cał}$	659	–	865	–
suma kosztów		601 395	100	636 521	100

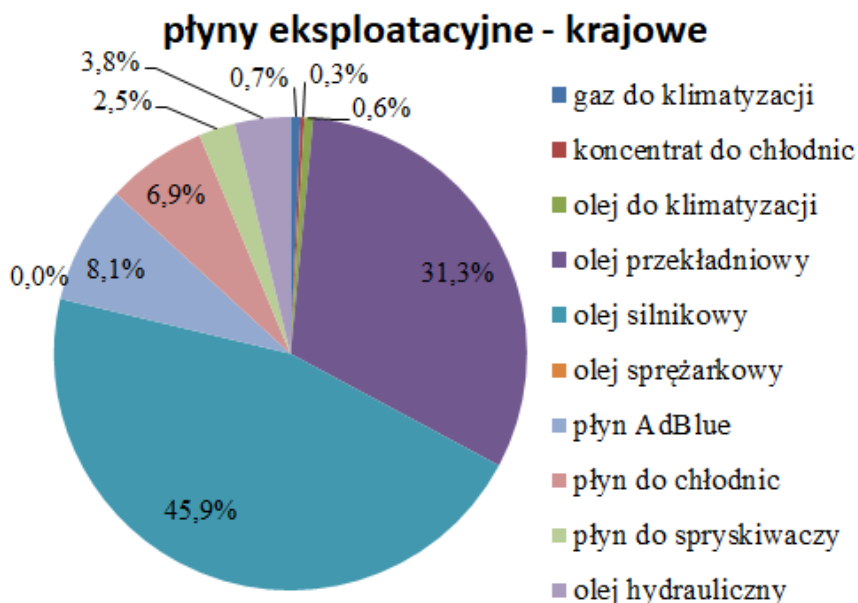
Główny czynnik kosztów zmiennych to liczba przejechanych kilometrów. Łączny przebieg można podzielić na drogę przejechaną z pasażerami oraz na drogę przejechaną bez nich (są to wszystkie odległości pokonane do/z miejsca zajezdni na przystanek początkowy). Z tabeli 6.25 zauważyć można, że największy procentowy udział w kosztach stanowi zużycie paliwa. Obejmują one ponad 85% całości kosztów generowanych przez przedsiębiorstwo. Koszty zużytego paliwa dla każdej z marek pojazdów w przeliczeniu na 1 autobus przedstawia tabela 6.25. Różnica pomiędzy średnimi miesięcznymi kosztami zużycia paliwa w okresie 6 lat wynosi 708 zł/1 autobus. Koszty te wyższe są dla autobusów marki zagranicznej. Pozostałe płyny eksploatacyjne oraz smary stanowią bardzo mały odsetek łącznych kosztów, wynoszący 1,3% dla autobusów krajowych oraz 1,9% dla autobusów zagranicznych. Szczegółowe charakterystyki kosztów napraw i obsług zostały opisane w kolejnych rozdziałach. Następne składniki kosztów zależne od ilości przejechanych kilometrów to ogumienie, oleje oraz

zespoły i części zamienne do środków transportowych. Rozpatrując koszty ogumienia, zauważyć można, iż są one wyższe dla pojazdów zagranicznych. Zarówno ich przebieg miesięczny jest wyższy o prawie 400 km na 1 autobus od pojazdów krajowych.



Rys. 6. 18. Procentowy udział kosztów płynów eksploatacyjnych na 1 autobus zagraniczny w okresie 72 miesięcy użytkowania

W niniejszej pracy do kosztów związanych bezpośrednio z użytkowaniem pojazdu zaliczono koszty: paliwa, oleju napędowego, płynu AdBlue, płynu do spryskiwania szyb, mediów do napełniania klimatyzacji (gazu i oleju) oraz oleju silnikowego. Rysunki 6.18. i 6.19. przedstawiają procentowy udział poszczególnych składników kosztów płynów eksploatacyjnych. W tabeli 6.26. zostały przedstawione miesięczne koszty poszczególnych płynów eksploatacyjnych w przeliczeniu na jeden autobus z pominięciem oleju napędowego. Wyższy koszt zużycia płynu chłodziwczego Borygo, oleju silnikowego, oleju przekładniowego, a także płynu do chłodziw mają autobusy marki krajowej. Koszty z wykorzystaniem oleju sprężarkowego, koncentratu do chłodziw oraz oleju do klimatyzacji stanowią najmniejszy udział w miesięcznych kosztach płynów. Użytkowanie autobusów marki zagranicznej generuje miesięczne koszty wyższe o 22,9 zł w przypadku płynu AdBlue.



Rys. 6. 19. Procentowy udział kosztów płynów eksploatacyjnych na 1 autobus krajowy w okresie 72 miesięcy użytkowania

Analizując koszty płynów eksploatacyjnych, należy zwrócić uwagę na zużycie płynu AdBlue. W pojeździe o normie emisji spalin EURO 4 (autobusy krajowe) średnie zużycie płynu wynosi 0,42% na 1 l zużytego paliwa, natomiast dla pojazdów o normie spalania EURO 5 (autobusy zagraniczne) zużycie to wzrasta do 3,56% (tabela 6.2).

Tab. 6.26. Średni miesięczny koszt zużytych płynów eksploatacyjnych na 1 autobus

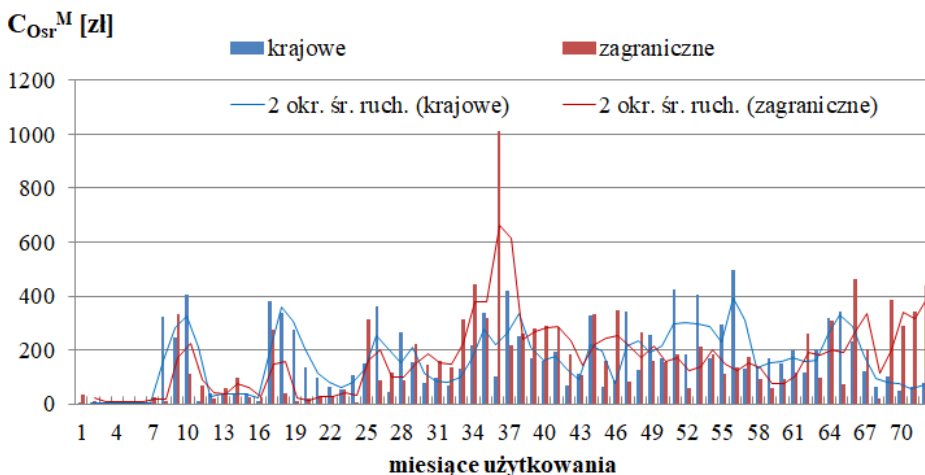
Koszty:	Krajowe	Zagraniczne
	[zł]	[zł]
gaz do klimatyzacji	0,68	1,2
koncentrat do chłodnic	0,25	0,0
olej do klimatyzacji	0,61	0,5
olej przekładniowy	31,14	19,8
olej silnikowy	45,68	41,8
olej sprężarkowy	0,00	0,2
płyn AdBlue	8,04	30,9
płyn do chłodnic	6,87	3,3
płyn do spryskiwaczy	2,49	2,3

Wymiana oleju w obu analizowanych markach pojazdów następuje po przejechaniu 60 tys. km i używany jest olej półsyntetyczny 10W40. Z wymianą oleju wiążą się również koszty części zamiennych (wymiana filtrów). Ten rodzaj kosztów jest mniejszy dla silnika pojazdów marki zagranicznej. Grupę kosztów części zamiennych najtrudniej przewidzieć, ponieważ zależy ona od awarii i uszkodzeń powstałych losowo. Ważne jest zatem stałe monitorowanie wydatków, które ponosi przedsiębiorstwo w czasie eksploatacji danej marki pojazdu. Analiza wskaźników niezawodnościowych, wyliczonych w kolejnych rozdziałach pracy pozwoli na wstępne oszacowanie, która z analizowanych dwóch marek autobusów będzie generować wyższe koszty w okresie eksploatacyjnym.

6.3.3. Charakterystyka kosztów obsługi

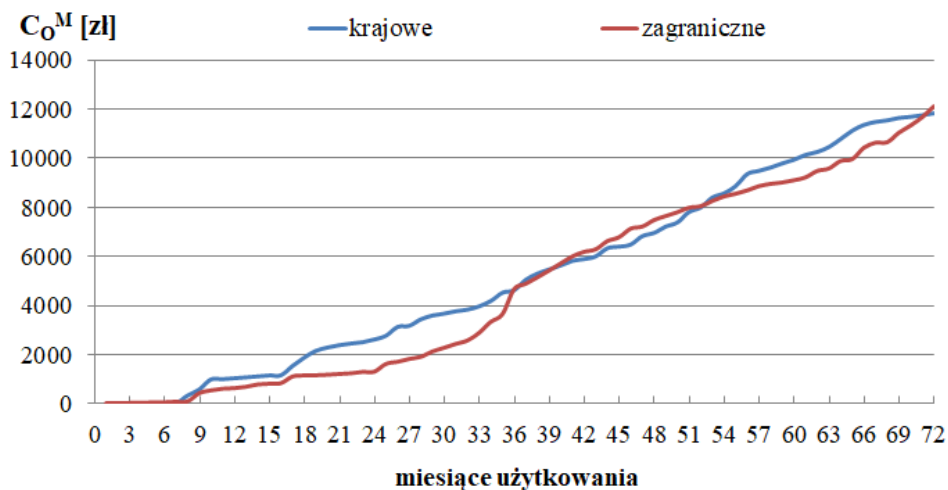
Charakterystyka kosztów obsługi stanowi ważny składnik analizy łącznych kosztów utrzymania pojazdów. W przeprowadzonych badaniach do kosztów obsługi zaliczono koszty części zamiennych, które wynikają bezpośrednio z obsługi okresowej pojazdów, w tym między innymi: filtry powietrza, oleju, paliwa, płynu AdBlue, akumulatory i tym podobne.

Na rysunku 6.20 zaprezentowano wykres kosztów obsługi technicznych w ujęciu miesięcznym. Średni miesięczny koszt obsługi dla całego badanego okresu eksploatacji wyniósł 164 zł/ 1 autobus krajowy i 168 zł/ 1 autobus zagraniczny. Zatem średni miesięczny koszt obsługi autobusów krajowych był niższy o 4 zł. Warto zauważyć, iż w 36 miesiącu eksploatacji dla autobusów zagranicznych koszty związane z obsługami technicznymi wzrosły do wartości 1009 zł. Szczegółowe statystyki opisowe kosztów obsługi technicznych autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji miesiący użytkowania przedstawione zostały w Załączniku nr 4.



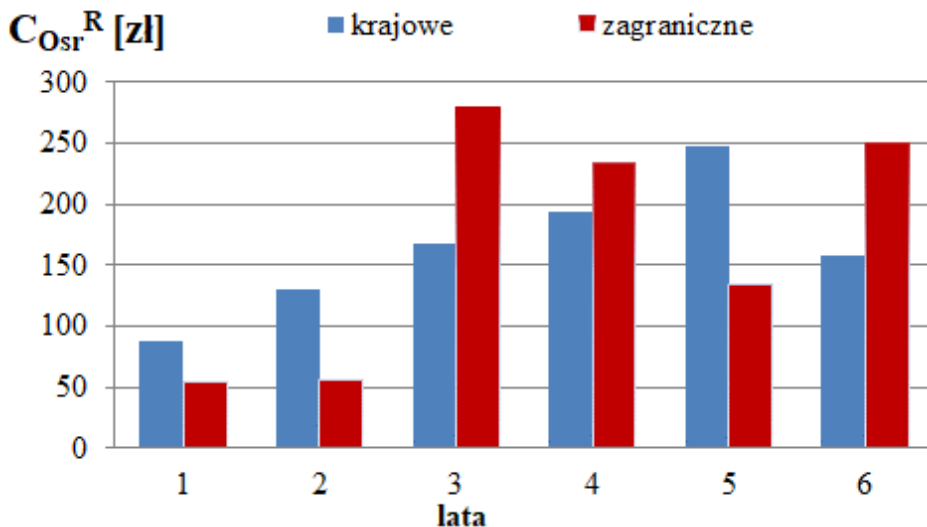
Rys. 6. 20. Miesięczny koszt obsługi technicznych przypadający na 1 autobus

Na rysunku 6.21 przedstawiono skumulowane koszty obsługi technicznych w przeliczeniu na 1 autobus. Po 72 miesiącach eksploatacji całkowita wartość kosztów obsługi technicznych przypadających na 1 pojazd wynosi 12,095 tys. zł dla autobusów zagranicznych oraz 11,81 tys. zł dla autobusów krajowych, przy czym różnica wynosi 286 zł na 1 autobus na korzyść autobusów krajowych.



Rys. 6. 21. Skumulowane koszty obsługi technicznych przypadające na 1 autobus

Wyniki obliczeń średnich kosztów obsługi technicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym przedstawiono na rysunku 6.22 a ich statystyki opisowe w tabeli 6.27. Wyższy roczny koszt obsługi w pierwszym dwuletnim okresie użytkowania można stwierdzić dla autobusów marki krajowej, przy współczynniku zmienności równym średnio 170% i odchyleniu standardowym równym średnio 187 zł. Dla autobusów zagranicznych średni koszt obsługi rośnie znacząco po okresie 2 lat eksploatacji. W trzecim roku eksploatacji średni koszt obsługi technicznych dla autobusów zagranicznych jest prawie 1,5 razy wyższy, niż dla autobusów krajowych. Średnie odchylenie standardowe wyniosło 287 zł, a współczynnik zmienności był równy 103%.

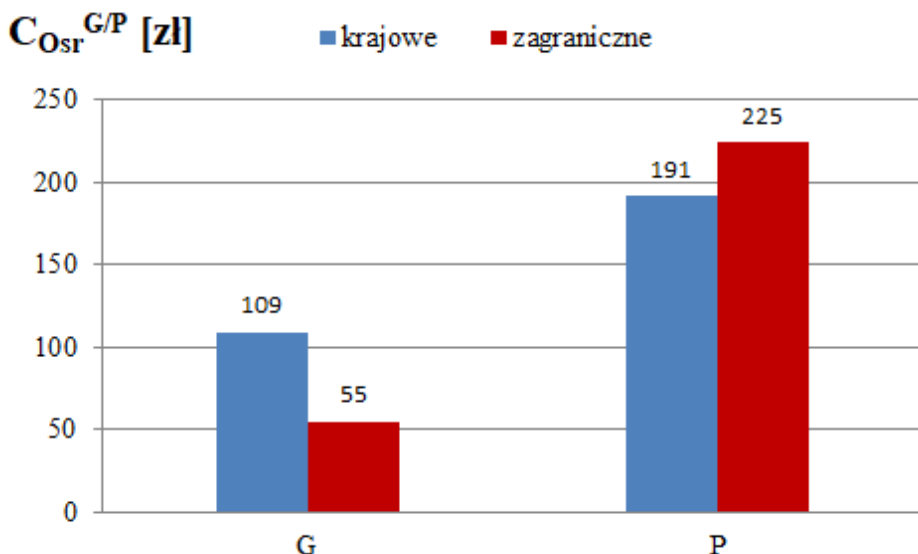


Rys. 6.22. Miesięczne koszty obsługi technicznych autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Średnie miesięczne koszty obsługi technicznych w okresie gwarancyjnym, czyli do 24 miesiąca użytkowania są dwukrotnie wyższe dla autobusów krajowych, niż dla autobusów zagranicznych i wynoszą odpowiednio 109 zł i 55 zł (rysunek 6.23 i tabela 6.28). W okresie pogwarancyjnym, czyli od 25 do 72 miesiąca eksploatacji różnica pomiędzy kosztami obsługi jest mniejsza i wynosi zaledwie 34 zł (191 zł dla autobusów krajowych i 225 zł dla autobusów zagranicznych). Odchylenie standardowe wynosi odpowiednio 296 zł i 301 zł.

Tab. 6.27. Statystyki opisowe miesięcznych kosztów obsługi technicznych przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

lata	Koszty obsługi technicznych [zł]									
	krajowe					zagraniczne				
	C_{Os}^R	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	C_{Os}^R	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	87	145	1,65	18	1056	54	80	1,48	8	583
2	131	229	1,75	18	1275	56	166	2,98	56	1192
3	167	237	1,42	1	1234	279	287	1,03	5	2197
4	194	334	1,73	2	1556	234	327	1,40	5	3183
5	248	373	1,51	4	1943	135	304	2,25	10	1764
6	157	233	1,48	5	1823	250	280	1,12	17	1207

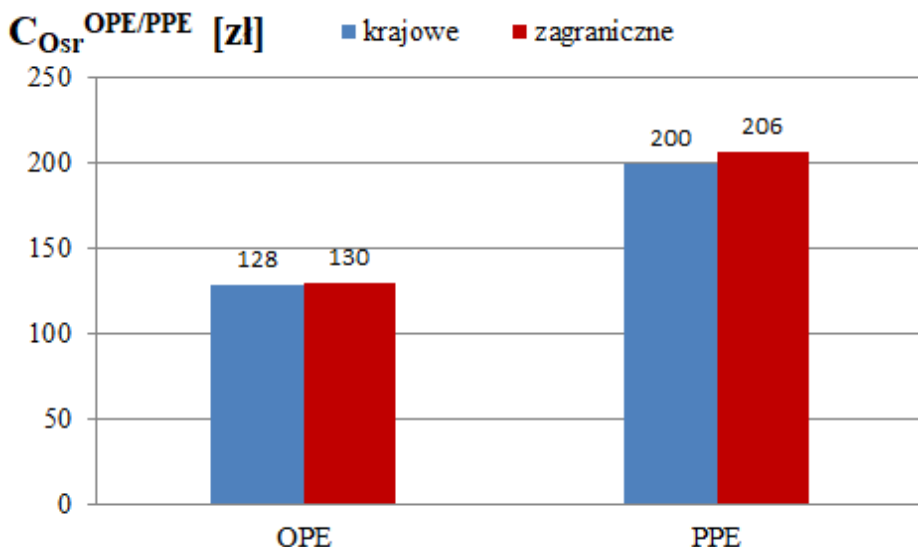


Rys. 6. 23. Miesięczne koszty obsługi technicznych autobusów w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Tab. 6.28. Statystyki opisowe miesięcznych kosztów obsługi technicznych przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

okres	marka	koszty obsługi technicznych [zł]				
		Średnia ($C_{Osr}^{G/P}$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
G	krajowe	109	193	1,77	18	1275
P		191	296	1,54	1	1943
G	zagraniczne	55	115	2,10	8	1192
P		225	301	1,34	5	3183

Jak wynika z rysunku 6.24 koszty obsługi technicznych autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej są niższe, niż w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej dla obu marek pojazdów. Wyniki obliczeń średnich kosztów obsługi autobusów w wyróżnionych przedziałach czasu użytkowania przedstawiono szczegółowo w tabeli 6.29. Większy przyrost kosztów obsługi można zauważyć dla autobusu marki zagranicznej (przyrost o 60%). Dla tych pojazdów miesięczne koszty obsługi w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej wyniosły 130 zł, a dla autobusów krajowych 128 zł. Odchylenie standardowe równe odpowiednio 208 zł i 186 zł oraz współczynnik zmienności równy 162% 144% odpowiednio dla autobusów krajowych i zagranicznych, świadczą o dużym zróżnicowaniu tej średniej.



Rys. 6. 24. Miesięczne koszty obsługi technicznych autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Tab. 6.29. Statystyki opisowe miesięcznych kosztów obsługi technicznych przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

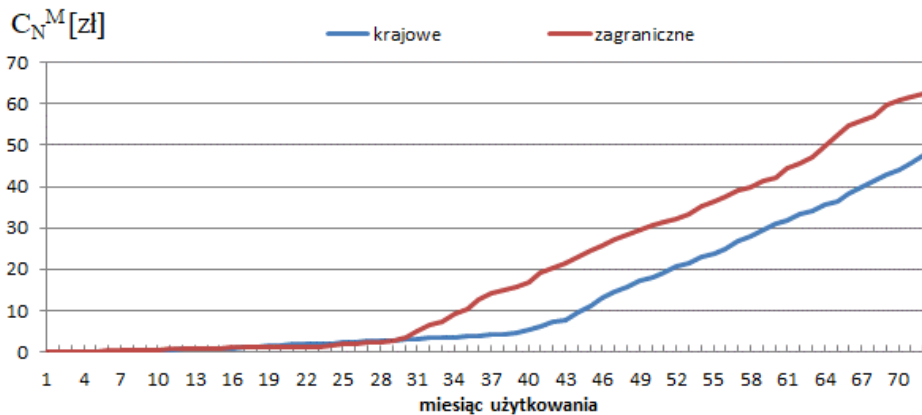
okres	marka	Koszty obsługi technicznych [zł]				
		Średnia ($C_{Os_r}^{OPE/PPE}$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
OPE	krajowe	128	208	1,62	1	1275
PPE		200	314	1,57	2	1943
OPE	zagraniczne	130	186	1,44	5	2197
PPE		206	307	1,49	5	3183

Dla autobusów krajowych koszty obsługi w drugim rozpatrywanym okresie były niższe, niż dla autobusów zagranicznych i wyniosły 200 zł, a dla autobusów zagranicznych 206 zł, przy odchyleniu standardowym równym odpowiednio 314 zł i 307 zł. Współczynnik zmienności w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej równy był 149% i 157% odpowiednio dla autobusów zagranicznych i krajowych.

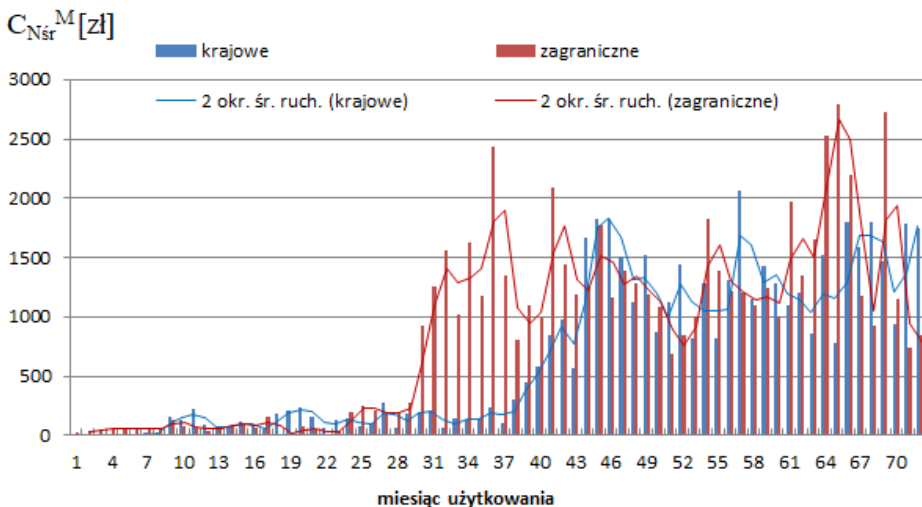
6.3.4. Charakterystyki kosztów napraw

W przeprowadzonych badaniach do kosztów napraw zaliczono koszty części, które wynikają z eksploatacji pojazdów, w tym między innymi: klocki hamulcowe, wycieraczki, żarówki, bezpieczniki, chłodnica i tym podobne. Szczegółowy wykaz składowych kosztów napraw wynika z awaryjności pojazdów

i zamieszczono go w rozdziale 6.4. W kosztach tych nie uwzględniono natomiast części, których uszkodzenia nie były bezpośrednio związane z wiekiem (przebiegiem) pojazdu (np. lusterka, szyby, młotki bezpieczeństwa, ramki tablicy rejestracyjnej, wymieniane z powodów uszkodzeń mechanicznych lub kradzieży) oraz te, które stanowiły dodatkowe wyposażenie montowane na zlecenie MPK Lublin (np. monitory LCD). Pozycje literatury, które prezentują to zagadnienie to między innymi: [33] i [32].



Rys. 6. 25. Miesięczny koszt naprawy przypadający na 1 autobus [32]



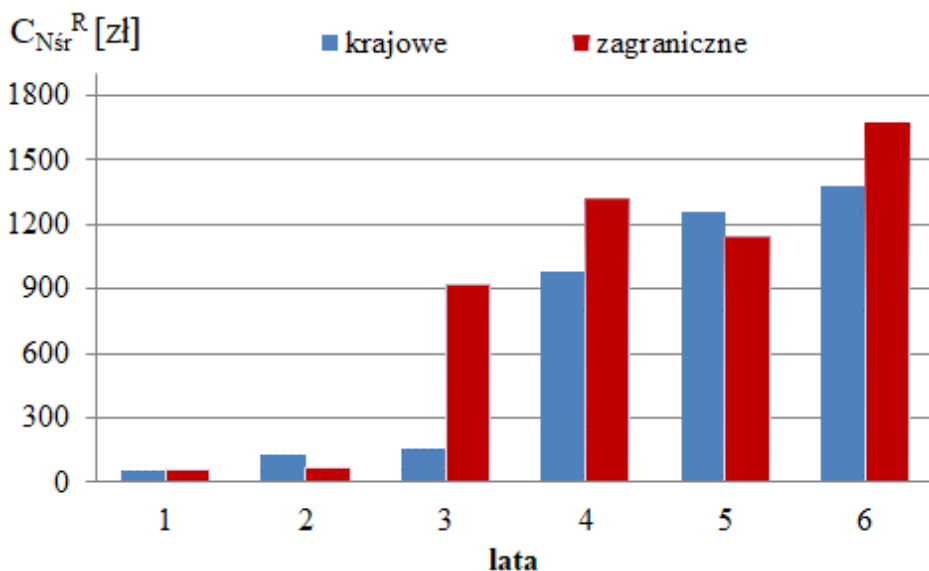
Rys. 6. 26. Skumulowane koszty napraw przypadające na 1 autobus [tys. zł]

Na rysunku 6.25. zaprezentowano wykres miesięcznych kosztów napraw w całym okresie użytkowania pojazdów. Średni koszt napraw dla całego badanego okresu eksploatacji wyniósł 659 zł/ 1 autobus krajowy i 865 zł/ 1 autobus zagraniczny. Zatem średni koszt naprawy autobusów zagranicznych

był wyższy o 206 zł/ 1 pojazd przy odchyleniu standardowym równym 759 zł. Do porównania, która z marek pojazdów wykazała wyższy koszt naprawy posłużono się analizą wariancji, która została zaprezentowana w rozdziale 6.3.5. Szczegółowe statystyki opisowe kosztów napraw autobusów krajowych i zagranicznych w funkcji miesięcy użytkowania przedstawione zostały w Załączniku nr 5.

W początkowym okresie eksploatacji (do granicy czasu około 29 miesiąca eksploatacji) średni miesięczny koszt naprawy pojazdów marki zagranicznej wynosi średnio 92 zł. Następnie koszty te rosną, osiągając średni poziom ponad 1380 zł/1 autobus. Warto również zauważyć, że wartość środkowa (mediana) w przypadku podziału na pojazdy krajowe i zagraniczne w całym analizowanym okresie wynosi odpowiednio 250 zł, przy współczynniku zmienności równym 158% dla autobusów krajowych oraz 347 zł przy współczynniku zmienności równym 149% dla autobusów zagranicznych. W okresie od 31 do 50 miesiąca eksploatacji oraz 53 do 69 miesiąca użytkowania koszty związane z naprawami autobusów zagranicznych osiągają średnio ponad 1350 zł/1 pojazd na 1 miesiąc i tym samym przewyższają koszty napraw autobusów krajowych.

Na rysunku 6.26 przedstawiono skumulowane koszty napraw w przeliczeniu na 1 autobus. Po 72 miesiącach (6 latach) eksploatacji całkowita wartość kosztów napraw w odniesieniu do 1 pojazdu wynosi 47 444 zł dla autobusów krajowych oraz 62 291 zł dla autobusów zagranicznych, zatem różnica pomiędzy skumulowanymi kosztami napraw wynosi 14,85 tys. zł na 1 autobus na korzyść autobusów krajowych.

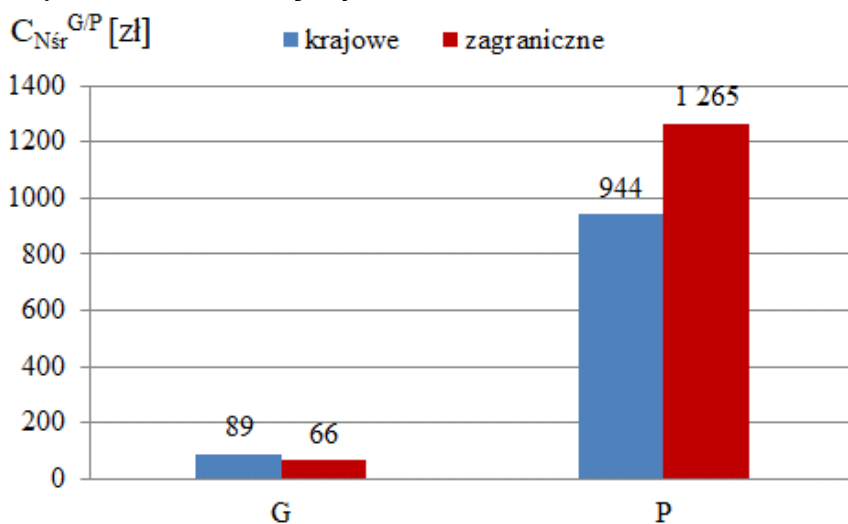


Rys. 6. 27. Miesięczne koszty napraw autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Tab. 6.30. Statystyki opisowe miesięcznych kosztów napraw przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

lata	Koszty napraw [zł]									
	krajowe					zagraniczne				
	Średnia (C_{Nsr}^R)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	Średnia (C_{Nsr}^R)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	54	166	3,07	0,1	738	59	53	0,91	0,1	353
2	125	183	1,47	0,1	947	73	300	4,11	0,1	2231
3	153	191	1,24	0,2	943	925	1383	1,50	0,2	9931
4	982	1392	1,42	0,2	8678	1318	1522	1,16	0,2	12104
5	1258	1258	1,00	0,2	5750	1147	1225	1,07	0,2	6118
6	1381	1443	1,04	0,2	8615	1670	1898	1,14	0,2	11462

Wyniki obliczeń średnich kosztów napraw w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym przedstawiono na rysunku 6.27. a ich statystyki opisowe w tabeli 6.30. Koszt naprawy autobusów krajowych rośnie znacząco w 4 roku użytkowania, czyli po okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej. Dla autobusów zagranicznych średni koszt napraw rośnie znacząco już w okresie pogwarancyjnym (3 rok eksploatacji). Średnie odchylenie standardowe wyniosło wtedy 1 392 zł., a współczynnik zmienności równy był 142%. Występuje duża różnica (rozstęp) między wartością maksymalną i minimalną kosztów napraw autobusu zagranicznego w 4 i 6 roku użytkowania (tabela 6.30). Powodem tego jest duży wzrost liczby napraw poszczególnych części pojazdów wraz z czasem ich użytkowania. Poszczególne koszty części zamiennych są wyższe, niż koszty tych części w autobusach krajowych.



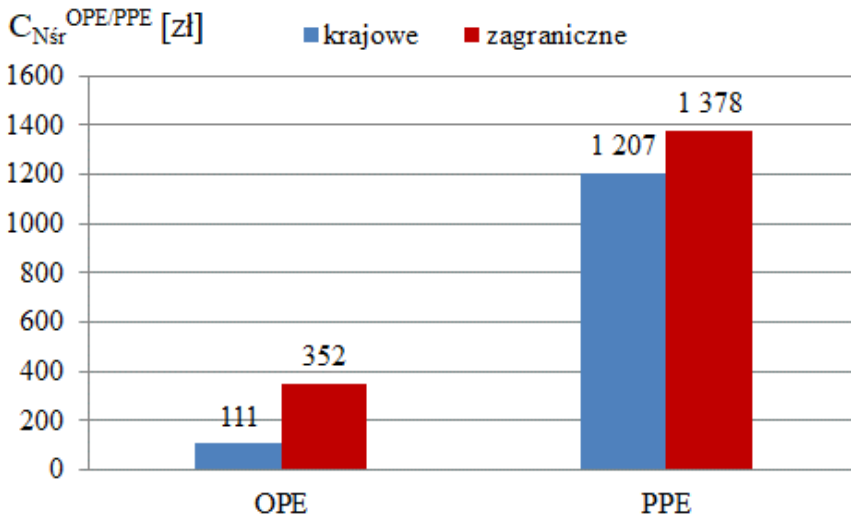
Rys. 6. 28. Miesięczne koszty napraw autobusów w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Średnie koszty napraw w okresie gwarancyjnym, czyli do 24 miesiąca użytkowania są wyższe o 23 zł/ 1 pojazd dla autobusów krajowych i wynoszą odpowiednio 89 zł i 66 zł dla autobusów krajowych i zagranicznych (rysunek 6.28 i tabela 6.31). W okresie pogwarancyjnym, czyli od 25 do 72 miesiąca eksploatacji (4 lata użytkowania) koszty napraw autobusów zagranicznych są wyższe od kosztów napraw autobusów krajowych o 321 zł (944 zł dla autobusów krajowych i 1265 zł dla autobusów zagranicznych). Odchylenie standardowe w przypadku podziału na pojazdy krajowe i zagraniczne w analizowanym okresie pogwarancyjnym wynosi odpowiednio 1283 zł i 1470 zł.

Jak wynika z rysunku 6.29 koszty napraw autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej są znacznie niższe niż w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej dla obu marek pojazdów. Wyniki obliczeń średnich kosztów napraw autobusów w wyróżnionych przedziałach czasu użytkowania przedstawiono szczegółowo w tabeli 6.32.

Tab. 6.31. Statystyki opisowe kosztów napraw przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

okres	marka	Koszty napraw [zł]				
		Średnia ($C_{N\text{sr}}^{G/P}$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
G	krajowe	89	178	1,99	0,1	947
P		944	1283	1,36	0,2	8678
G	zagraniczne	66	186	2,82	0,1	2231
P		1265	1470	1,16	0,2	12104



Rys. 6. 29. Miesięczne koszty napraw autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Tab. 6.32. Statystyki opisowe miesięcznych kosztów napraw przypadających na 1 autobus w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

okres	marka	Koszty napraw [zł]				
		średnia ($C_{Nsr}^{OPE/PPE}$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
OPE	krajowe	111	58	0,53	0,1	947
PPE		1207	302	0,25	0,2	8678
OPE	zagraniczne	352	1002	2,84	0,1	9931
PPE		1378	1491	1,08	0,2	12104

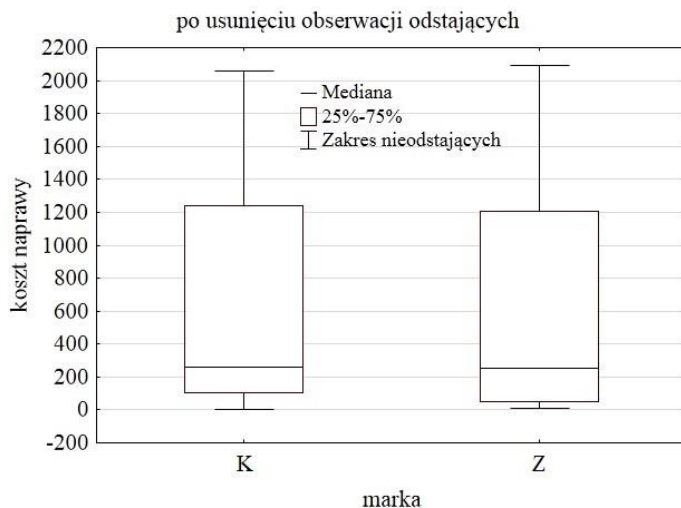
Większy wzrost kosztów napraw w analizowanych okresach można zauważyć dla autobusów krajowych. Dla tych pojazdów koszty napraw w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej wyniosły 111 zł, i wzrosły ponad 10 krotnie, do wartości 1 207 zł. Przy czym dla autobusów zagranicznych, koszty te były wyższe niż dla autobusów krajowych i wyniosły 352 zł. Odchylenie standardowe równe było odpowiednio 58 zł i 1002 zł dla autobusów krajowych i zagranicznych. Współczynnik zmienności w tym okresie wyniósł odpowiednio 53% i 284%. Dla pojazdów zagranicznych koszty napraw w drugim rozpatrywanym okresie były wyższe, niż dla autobusów krajowych i wyniosły odpowiednio 1378 zł i 1207 zł, przy odchyleniu standardowym równym 1491 zł i 302 zł. Współczynnik zmienności w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej równy był 25% i 108% odpowiednio dla autobusów krajowych i zagranicznych.

6.3.5. Porównanie kosztów napraw – analiza wariancji

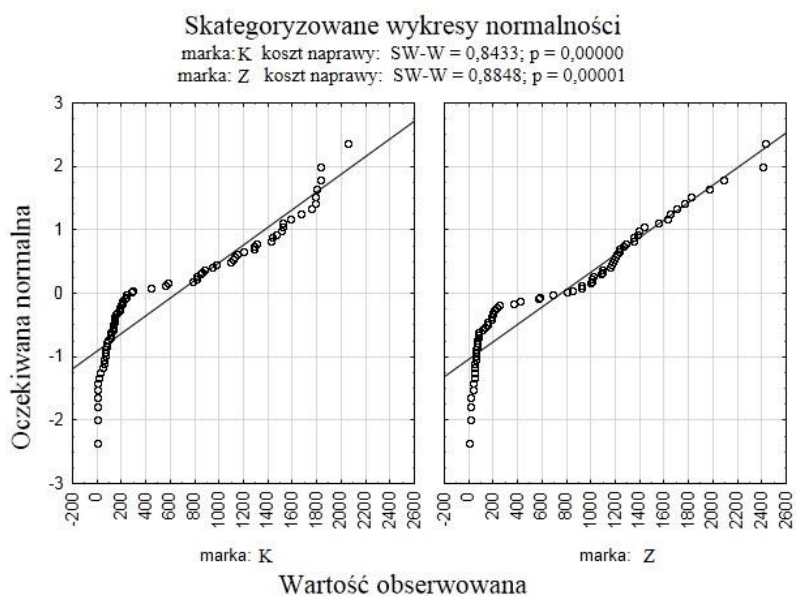
Przeprowadzono analizę wariancji ANOVA w celu dokonania statystycznej oceny wpływu marki pojazdów i okresu użytkowania na średni miesięczny koszt naprawy autobusów. W przeprowadzonym teście jako zmienną zależną (objaśnianą) przyjęto średni miesięczny koszt naprawy autobusu. Okres użytkowania podzielono na cztery kategorie: okres gwarancyjny (0–2 lat) i pogwarancyjny (3–6 lat) oraz okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (0–3 lata) i okres pełnej przydatności eksploatacyjnej (4–6 lat).

Sprawdzono czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy (rysunek 6.30.) przedstawia średni miesięczny koszt naprawy po usunięciu obserwacji odstających.

W pierwszej kolejności analizę wariancji przeprowadzono dla czynnika „marka autobusu”, a zmienną zależną był średni miesięczny koszt naprawy w okresie 72 miesięcy użytkowania. Analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji.



Rys. 6. 30. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy – dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania po usunięciu obserwacji odstających



Rys. 6. 31. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania

Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 6.31. W teście W Shapiro–Wilka otrzymano dla pojazdów marki zagranicznej i krajowej poziom istotności $p < \alpha = 0,05$. Zatem założenie o normalności rozkładu nie jest tu

spełnione. Na tej podstawie zdecydowano się na zastosowanie nieparametrycznego testu Kruskala–Wallisa i testu mediany. Oba te testy dostępne są w ramach pakietu STATISTICA 10.0. Test Kruskala–Wallisa jest nieparametrycznym odpowiednikiem jednoczynnikowej analizy wariancji. Wyniki tych testów przedstawiono w tabeli 6.33 i 6.34.

Tab. 6.33. Wyniki testu rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

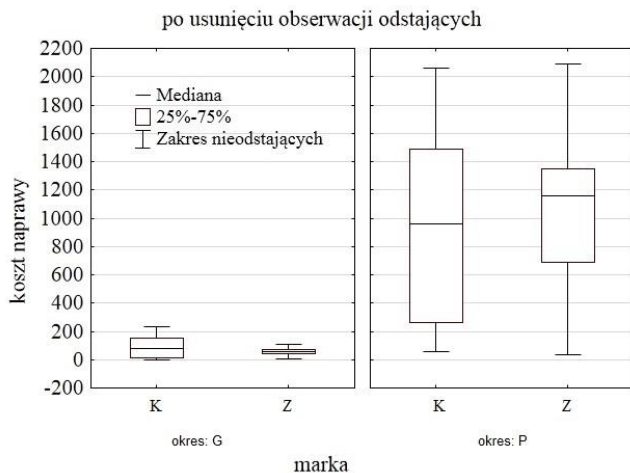
Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 144) = 0,304$ $p = 0,581$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
krajowe	101	72	5082,0	70,58
zagraniczne	102	72	5358,0	74,42

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, *I* – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki *H*, *H* – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, *p* – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 6.34. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 502,52; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 1,0 $df = 1$ $p = 0,317$		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	39,0	33,0	72,0
oczekiwane	36,0	36,0	
obserwacje- oczekiwane	3,0	-3,0	
>mediany: obserwowane	33,0	39,0	72,0
oczekiwane	36,0	36,0	
obserwacje- oczekiwane	-3,0	3,0	
razem: obserwowane	72,0	72,0	144,0

Dla testu Kruskala–Wallisa obliczony poziom istotności wynosi 0,581 i jest większy niż 0,05 (tabela 6.33), zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem kosztów napraw. Mediana kosztów napraw w całym analizowanym okresie wynosi 502,52 zł. dla obu marek pojazdów (tabela 6.34).



Rys. 6. 32. Wykres ramka – wąsy zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy – dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) po usunięciu obserwacji odstających

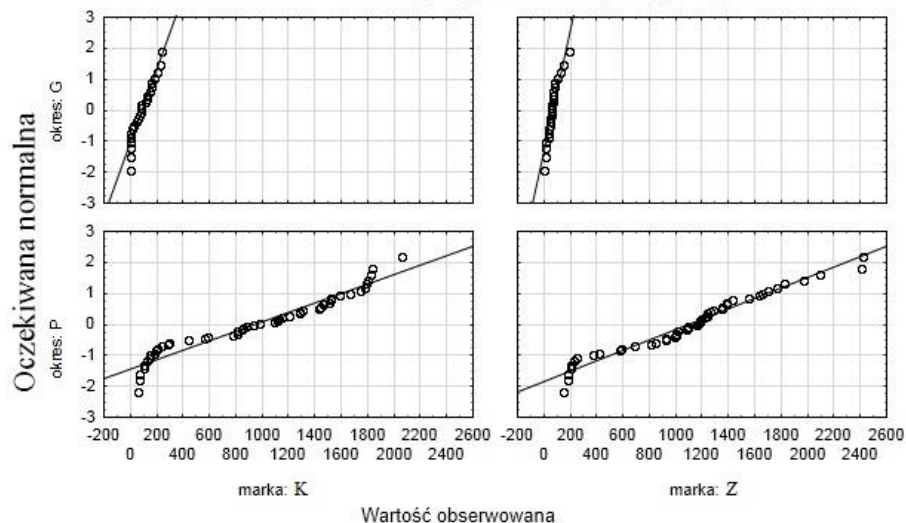
Skategoryzowane wykresy normalności

marka: K okres: G koszt naprawy: SW-W = 0,9107; p = 0,0365

marka: K okres: P koszt naprawy: SW-W = 0,9227; p = 0,0037

marka: Z okres: G koszt naprawy: SW-W = 0,8814; p = 0,0089

marka: Z okres: P koszt naprawy: SW-W = 0,9606; p = 0,1066



Rys. 6. 33. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Tab. 6.35. Wyniki testu rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 45) = 1,682$ $p = 0,1947$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
krajowe	101	24	609,0	25,38
zagraniczne	102	21	426,0	20,29
<i>N</i> – liczba wszystkich ważnych obserwacji, <i>l</i> – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki <i>H</i> , <i>H</i> – wartość statystyki testu Kruskala – Wallisa, <i>p</i> – poziom prawdopodobieństwa				

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym. Sprawdzone czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy przedstawiono na rysunku 6.32.

Tab. 6.36. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 58,28; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 1,84 df = 1 $p = 0,1754$		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	10,0	13,0	23,0
oczekiwane	12,27	10,7	
obserwacje- oczekiwane	-2,27	2,27	
>mediany: obserwowane	14,0	8,0	22,0
oczekiwane	11,73	10,27	
obserwacje- oczekiwane	2,27	-2,27	
razem: obserwowane	24,0	21,0	45,0

Analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki sprawdzenia normalności rozkładu przedstawiono na rysunku 6.33. Dla testu W Shapiro–Wilka poziom istotności pojazdu: zagranicznego w okresie pogwarancyjnym, jest większy $p > \alpha = 0,05$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu. Dla autobusów marki krajowej w obu analizowanych okresach $p < 0,05$. Zatem założenie o normalności rozkładu nie jest spełnione w żadnym z marek pojazdów i okresów eksploatacji. Zastosowano zatem nieparametryczny test Kruskala–

Wallisa i test mediany. Wyniki tych testów dla okresu gwarancyjnego przedstawiono w tabeli 6.35 i 6.36.

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności wynosi 0,1947 i jest większy niż 0,05, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem kosztów napraw. Mediana kosztów napraw w okresie gwarancyjnym wynosi 58,28 zł dla obu marek pojazdów.

Tab. 6.37. Wyniki testu rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala-Wallisa: $H(I, N = 94) = 0,6187; p = 0,4315$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
krajowe	101	48	2176,0	45,3
zagraniczne	102	46	2289,0	49,76
N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, 1 – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H, H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa				

Tab. 6.38. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 1092,07; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 0,1703; $df = 1; p = 0,6799$		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	25,0	22,0	47,0
oczekiwane	24,0	23,0	
obserwacje- oczekiwane	1,0	-1,0	
>mediany: obserwowane	23,0	24,0	47,0
oczekiwane	24,0	23,0	
obserwacje- oczekiwane	-1,0	1,0	
razem: obserwowane	48,0	46,0	94,0

Następnie przeprowadzono analizę wariancji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym. Wyniki testów Kruskala–Wallisa i test mediany przedstawiono w tabeli 6.37. i 6.38.

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności wynosi 0,4315 i jest większy niż 0,05 (tabela 6.37). Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem średnich kosztów

napraw. Wartość testu mediany wynosi 0,1703. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,6799$) pozwala stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że marka pojazdu nie wpływa istotnie (w sensie statystycznym) na średni koszt naprawy w okresie pogwarancyjnym.

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres gwarancyjny i pogwarancyjny. W przeprowadzonym teście zmienną zależną był koszt naprawy dla dwóch analizowanych marek autobusów. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 6.33.

Tab. 6.39. Wyniki testu rang Kruskala-Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów marki zagranicznej

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny Test Kruskala-Wallisa: $H(I, N = 67) = 42,617; p = 0,000$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
G	101	21	231,0	11,0
P	102	46	2047,0	44,5

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 6.40. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów marki zagranicznej

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 807,31; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny $Chi\ kwadrat = 29,69; df = 1; p = 0,000$		
	G	P	razem
<=mediany: obserwowane	21,0	13,0	34,0
oczekiwane	10,7	23,3	
obserwacje- oczekiwane	10,3	-10,3	
>mediany: obserwowane	0,0	33,0	33,0
oczekiwane	10,3	22,7	
obserwacje- oczekiwane	-10,3	10,3	
razem: obserwowane	21,0	46,0	67,0

W teście Kruskala-Wallisa poziom istotności dla autobusów zagranicznych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 6.39). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem śred-

nich kosztów napraw. Wartość testu mediany wynosi 29,69. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 6.40). Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie (w sensie statystycznym) na średni koszt naprawy pojazdów marki zagranicznej.

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności dla autobusów krajowych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 6.41). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem średnich kosztów napraw. Wartość testu mediany wynosi 36,0. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 6.42). Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływają istotnie na średni koszt naprawy pojazdów marki krajowej.

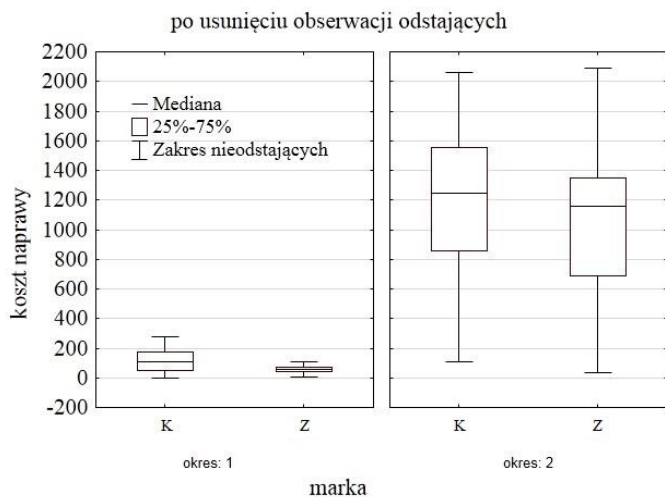
Tab. 6.41. Wyniki testu rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów marki krajowej

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala–Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny Test Kruskala–Wallisa: $H(1, N = 72) = 33,98; p = 0,000$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
G	101	24	388,0	16,17
P	102	48	2240,0	46,67

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, *I* – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki *H*, *H* – wartość statystyki testu Kruskala–Wallisa, *p* – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 6.42. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów marki krajowej

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 259,39; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny Chi kwadrat = 36,00; df = 1; p = 0,000		
	G	P	razem
\leq mediana: obserwowane	24,0	12,0	36,0
oczekiwane	12,0	24,0	
obserwacje- oczekiwane	12,0	-12,0	
$>$ mediana: obserwowane	0,0	36,0	36,0
oczekiwane	12,0	24,0	
obserwacje - oczekiwane	-12,0	12,0	
razem: obserwowane	21,0	46,0	67,0



Rys. 6. 34. Wykres ramka – wąsy zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt napraw – dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) po usunięciu obserwacji odstających

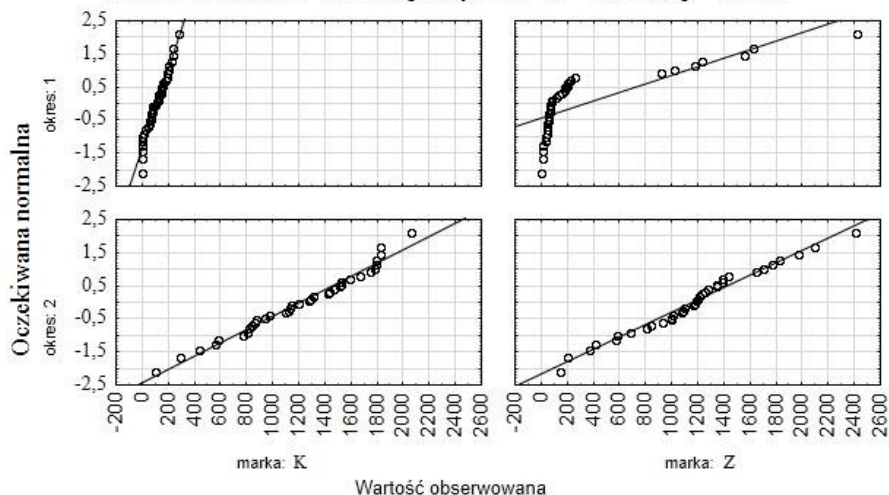
Skategoryzowane wykresy normalności

marka: K okres: 1 koszt naprawy: SW-W = 0,9488; p = 0,0957

marka: K okres: 2 koszt naprawy: SW-W = 0,9729; p = 0,5105

marka: Z okres: 1 koszt naprawy: SW-W = 0,612; p = 0,00000

marka: Z okres: 2 koszt naprawy: SW-W = 0,9798; p = 0,7387



Rys. 6. 35. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” (K – krajowe, Z – zagraniczne) w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2)

Kolejna analiza porównawcza dla czynnika „marka autobusu” została przeprowadzona w dwóch okresach eksploatacji: okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej oraz okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej. Sprawdzone, czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy po usunięciu obserwacji odstających przedstawia rysunek 6.40.

Tab. 6.43. Wyniki testu rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala–Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka Test Kruskala–Wallisa: $H(1, N = 65) = 1,087 p = 0,2972$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
zagraniczne	101	29	878,0	30,28
krajowe	102	36	1267,0	35,19

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala–Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 6.44. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 76,34 koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): marka $Chi\ kwadrat = 2,675; df = 1; p = 0,1019$		
	zagraniczne	krajowe	razem
\leq mediany: obserwowane	18,0	15,0	33,0
oczekiwane	14,72	18,28	
obserwacje- oczekiwane	3,28	-3,28	
$>$ mediany: obserwowane	11,0	21,0	32,0
oczekiwane	14,28	17,72	
obserwacje- oczekiwane	-3,28	3,28	
razem: obserwowane	29,0	36,0	65,0

Analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki sprawdzenia normalności rozkładu przedstawiono na rysunku 6.35. Dla testu W Shapiro–Wilka poziom istotności pojazdów marki zagranicznej w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyj-

nej wyniósł $p < 0,05$. Zatem założenie o normalności rozkładu nie jest spełnione. Zastosowano zatem nieparametryczny test Kruskala–Wallisa i test mediany. Wyniki tych testów dla okresu ograniczonej przydatności eksploatacyjnej przedstawiono w tabeli 6.43. i 6.44. W okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej poziom istotności p jest większy dla obu marek pojazdów $p > \alpha=0,05$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu. Zastosowano tu zatem analizę wariancji ANOVA.

Tab. 6.45. Wyniki testu Levene’a zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Test Levene’a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
PPE	koszt naprawy	marka pojazdu	242063,5	65581,1	3,6916	0,0589

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności wynosi 0,2972 i jest większy od zakładanego $\alpha = 0,05$ (tabela 6.43), zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem średnich kosztów napraw w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej. Wartość testu mediany wynosi $Chi\ kwadrat = 2,675$. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,1019$) pozwala stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 (tabela 6.44). Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że marka pojazdu nie wpływa istotnie na średni koszt naprawy w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej.

Następną analizę porównawczą średnich miesięcznych kosztów naprawy dla czynnika „marka autobusu” przeprowadzono w grupie czynników dotyczących okresu pełnej przydatności eksploatacyjnej. Sprawdzono, że w okresie tym nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu.

Uznano, że analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Drugim sprawdzonym założeniem było założenie o jednorodności wariancji. Tabela 6.45. i 6.46. przedstawia wartość prawdopodobieństw tych testów dla efektu klasyfikującego jakim jest „marka pojazdu”. Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla dwóch testów normalności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Można zatem stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji jest spełnione w analizowanym przypadku.

Przeprowadzono kolejną, jednoczynnikową analizę wariancji badając wpływ czynnika „marka pojazdu” na wynik średnich kosztów napraw pojazdów

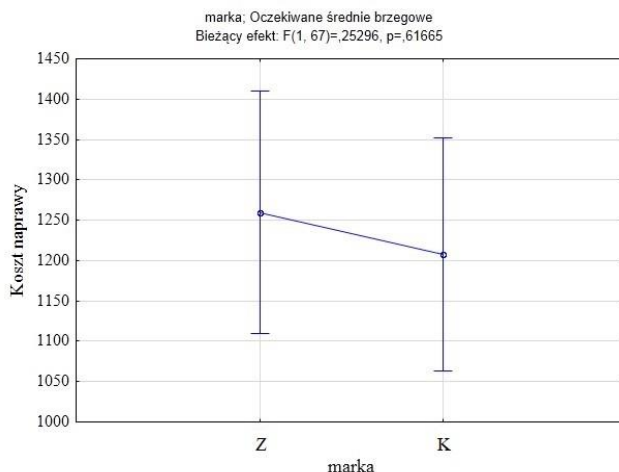
w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej. Z tabeli 6.47. wynika, że poziom istotności p dla marki pojazdu w tym okresie eksploatacji wynosi $p = 0,6167$.

Tab. 6.46. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Okres eksploatacji	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
PPE	koszt naprawy	marka pojazdu	1,6464	0,6221	2,0114	1	0,1561

Tab. 6.47. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy wariancji zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Okres eksploatacji	Efekt	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: koszt naprawy Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez				
		SS	stopnie swobody	MS	F	p
PPE	wyraz wolny	104779448	1	104779448	557,20	0,0000
	marka pojazdu	47567	1	47567	0,2530	0,6167
	błąd	12599062	67	188046		



Rys. 6. 36. Wykres interakcji średnich miesięcznych kosztów napraw w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej autobusów krajowych (K) i zagranicznych (Z)

Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Średni koszt naprawy autobusów w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej nie różni się istotnie. Wyniki testów analizy wariancji potwierdza również wykres interakcji (rysunek 6.36).

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej. W przeprowadzonym teście zmienną zależną był koszt naprawy dla dwóch analizowanych marek autobusów. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 6.35.

Tab. 6.48. Wyniki testu rang Kruskala-Wallisa zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów marki zagranicznej

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 72) = 50,183; p = 0,000$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
OPE	1	36	685,0	19,023
PPE	2	36	1943,0	53,972

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, 1 – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H, H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 6.49. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów marki zagranicznej

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 259,39; koszt naprawy Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE $Chi\ kwadrat = 64,22; df = 1; p = 0,000$		
	OPE	PPE	razem
<=mediany: obserwowane	35,0	1,0	36,0
oczekiwane	18,0	18,0	
obserwacje - oczekiwane	17,0	-17,0	
>mediany: obserwowane	1,0	35,0	36,0
oczekiwane	18,0	18,0	
obserwacje - oczekiwane	-17,0	17,0	
razem: obserwowane	36,0	36,0	72,0

Tab. 6.50. Wyniki testu Levene'a zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów marki krajowej

Zmienna	Efekt	Test Levene'a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
		MS Efekt	MS Błąd	F	p
koszt naprawy	marka pojazdu	1943240	35736,11	54,38	0,000

Tab. 6.51. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów marki krajowej

Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
		Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
koszt naprawy	marka pojazdu	36,14	0,973	77,83	1	0,000

Tab. 6.52. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy Wariancji oraz testu Welcha zmiennej zależnej – średni miesięczny koszt naprawy dla czynnika „okres eksploatacji” autobusów marki krajowej

Marka pojazdu	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: koszty napraw Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez Efekt: okres OPE/PPE											
	SS efekt	df efekt	MS efekt	SS Błąd	Df Błąd	MS błąd	F	p	df Welch efekt	df Welch błąd	F Welcha	p Welcha
Krajowe	21640801	1	21640801	8324749	70	118925	181,97	0,000	1	36,94	181,97	0,000

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności dla autobusów zagranicznych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 6.48.). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem średnich kosztów napraw. Wartość testu mediany wynosi 64,22. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić hipotezę H_0 o równości średnich (tabela 6.49.). Wyniki analizy pozwalają zatem

stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie (w sensie statystycznym) na średni koszt naprawy pojazdów marki zagranicznej.

Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 6.35. W teście W Shapiro–Wilka poziom istotności dla autobusów marki krajowej spełnia warunek, $p > \alpha = 0,05$, tym samym stwierdzono, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o normalności rozkładów danych w rozpatrywanych zbiorach. Kolejnym założeniem jakie sprawdzono był test jednorodności wariancji.

Tabele 6.50. i 6.51. przedstawiają wartości prawdopodobieństwa testów Levene’a, Hartleya, Bartletta i Cochra. Jak widać testy te przyniosły istotne statystycznie wyniki, gdyż poziom prawdopodobieństwa testowego $p < 0,05$. Zatem można stwierdzić, że założenia jednorodności wariancji nie są spełnione. Na tej podstawie należy zastosować test Welcha.

W teście Welcha poziom istotności dla autobusów marki krajowej wynosi $p = 0,000$ (tabela 6.52.). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie zinterpretowano wynik testu analizy wariancji, z którego wynika, że w rozpatrywanych okresach eksploatacji średnie koszty napraw różnią się istotnie. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić hipotezę H_0 o równości średnich. Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie na średni koszt naprawy autobusów marki krajowej.

6.3.6. Podsumowanie analizy kosztów

W rozpatrywanym okresie 72 miesięcy eksploatacji autobusy marki zagranicznej i krajowej generują podobne koszty użytkowania związane ze zużyciem paliwa i płynów eksploatacyjnych oraz z koniecznością wykonywania planowanych usług technicznych. Natomiast koszty napraw po 72 miesiącach obserwacji są wyższe w przypadku autobusów zagranicznych niż w przypadku autobusów krajowych, pomimo niższej ogólnej liczby uszkodzeń.

Analiza kosztów napraw w funkcji czasu użytkowania w przypadku autobusów krajowych wykazuje, że koszty te wzrastają gwałtownie po 3 latach użytkowania. W przypadku autobusów zagranicznych obserwuje się gwałtowny wzrost kosztów po okresie 2 lat użytkowania (koniec okresu gwarancyjnego).

Podsumowując, przeprowadzono analizę wariancji kosztów napraw badając wpływ, czynników „marka pojazdu” i „okres eksploatacji” na średnie koszty napraw. Badając wpływ czynnika „marka pojazdu” w całym okresie użytkowania, czyli 72 miesięcy poziom istotności p dla obu marek pojazdów jest większy od założonego i według testu rang K - W wynosi $p = 0,581$, a testu mediany wynosi $p = 0,317$ (tabela 6.33. i 6.34.). Oznacza to brak istotnej różnicy w średnich kosztach napraw pomiędzy dwiema analizowanymi markami krajową i zagraniczną.

Następnie zbadano wpływ czynnika „marka pojazdu” w poszczególnych, przyjętych w niniejszej pracy kategoriach okresów użytkowania (tabela 6.53).

W okresie gwarancyjnym stwierdzono, że analizowane marki autobusów pod względem średnich kosztów napraw nie różnią się istotnie między sobą (według testu rang K-W $p=0,1947$, a testu mediany $p=0,1754$) (tabele 6.35 i 6.36) i w okresie pogwarancyjnym (według testu rang K - W $p = 0,4315$, a testu mediany $p = 0,6799$) (tabele 6.37 i 6.38).

W okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (według testu rang K-W $p = 0,2972$, a testu mediany $p = 0,1019$) (tabele 6.43. i 6.44.) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (według testu ANOVA $p = 0,6167$) (tabela 6.47.), średnie koszty napraw analizowanych marek autobusów również nie różnią się istotnie między sobą.

Tab. 6.53. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średnich miesięcznych kosztów napraw dla czynnika „marka pojazdu” w danym okresie eksploatacji

Okres eksploatacji	Krajowe/Zagraniczne	Rodzaj testu
72 miesiące użytkowania	-	test Kruskala-Wallisa i test mediany
gwarancyjny (G)	-	test Kruskala-Wallisa i test mediany
pogwarancyjny (P)	-	test Kruskala-Wallisa i test mediany
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)	-	test Kruskala-Wallisa i test mediany
pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	-	Test ANOVA
+ różnią się istotnie; - nie różnią się istotnie		

Tab. 6.54. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średnich miesięcznych kosztów napraw dla czynnika „okres eksploatacji” autobusów krajowych i zagranicznych

Okres eksploatacji	Marka pojazdu		Rodzaj testu
	krajowe	zagraniczne	
gwarancyjny (G) / pogwarancyjny (P)	+	+	test Kruskala-Wallisa i test mediany
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)/ Pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	+	+	test Kruskala-Wallisa i test mediany/ test Welcha
+ różnią się istotnie; - nie różnią się istotnie			

Badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” (tabela 6.54) zauważono, że w przypadku zarówno autobusów marki krajowej, jak i zagranicznej w poszczególnych okresach użytkowania średnie koszty napraw różnią się istotnie. Obliczone prawdopodobieństwa we wszystkich czterech przypadkach ($p < 0,000$) pozwalają stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 6.48. i 6.52.).

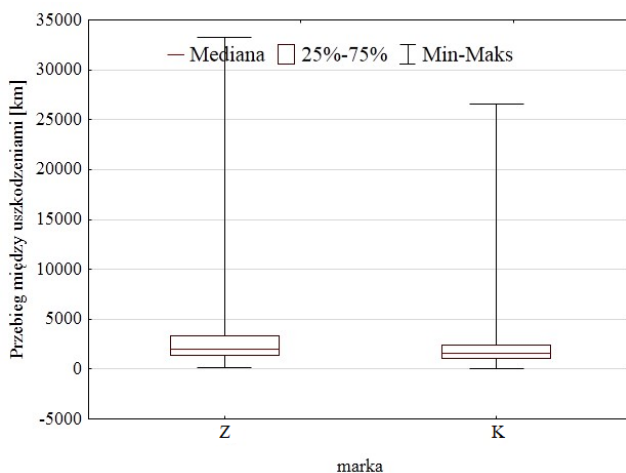
6.4. Niezawodność autobusów

6.4.1. Charakterystyki niezawodności autobusów

Niezawodność jest jedną z podstawowych cech decydujących o jakości eksploatacyjnej autobusów. Szczegółowa i systematyczna analiza uszkodzeń w autobusach oraz badanie ich przyczyn pozwala na wyodrębnienie najbardziej zawodnych elementów oraz zmniejszenie ogólnej awaryjności w systemie transportowym [17], [18].

Z danych o uszkodzeniach można uzyskać charakterystyki probabilistyczne dla poszczególnych długości odcinków przebiegów pomiędzy uszkodzeniami, jak i dla chwil uszkodzeń. Rozpatrywano uszkodzenia w poszczególnych układach konstrukcyjnych, jak również dla sum wszystkich uszkodzeń autobusu jako całości. W oparciu o zebrane dane o chwilach uszkodzeń i wyznaczonych przebiegach pomiędzy tymi uszkodzeniami oszacowano podstawowe charakterystyki niezawodnościowe. W obliczeniach wykorzystano program STATISTICA 10.0. Parametry rozkładu Weibull’a oszacowano metodą największej wiarygodności.

W opracowaniu nie analizowano przyczyn i skutków uszkodzeń autobusów. Podstawowe statystyki charakteryzujące przebiegi między uszkodzeniami badanych autobusów przedstawiono na rysunku 6.37 oraz w tabeli 6.55 i 6.56.



Rys. 6. 37. Wykresy ramkowe przebiegu eksploatacyjnego pomiędzy uszkodzeniami autobusów marki krajowej i zagranicznej

Na rysunku 6.37 przedstawiono wartości mediany oraz wartości minimalne i maksymalne przebiegów eksploatacyjnych pomiędzy uszkodzeniami. W tabeli 6.55 przedstawiono wartości odchyłeń standardowych, wartości średnie oraz skośność rozkładu przebiegów między uszkodzeniami. Średni przebieg między uszkodzeniami autobusów marki zagranicznej wynosi 2786 km, przy odchyleniu standardowym równym 2658 km, podczas gdy dla autobusów marki krajowej 1787 km, przy odchyleniu standardowym równym 10121 km. Mediana przebiegów między uszkodzeniami dla obu marek pojazdów jest niższa niż wartość średnia i wynosi odpowiednio 1593 km dla autobusów krajowych oraz 1954 km dla autobusów zagranicznych.

Tab. 6.55. Podstawowe charakterystyki przebiegów między uszkodzeniami autobusów krajowej i zagranicznej w całym 72 miesięcznym okresie użytkowania

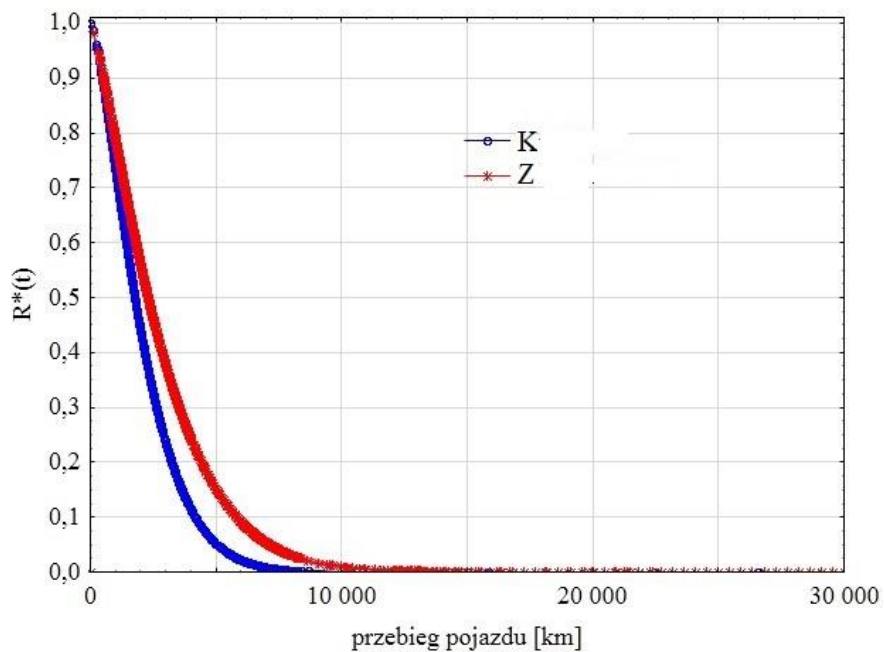
Marka pojazdu	Liczba uszkodzeń	Średni przebieg między uszkodzeniami [km]	Mediana przebiegu między uszkodzeniami [km]	Odch. stan. [km]
krajowe	3520	1787	1593	10 121
zagraniczne	3254	2786	1954	2 658

Tab. 6.56. Parametry kształtu i skali dwuparametrowego rozkładu Weibull'a

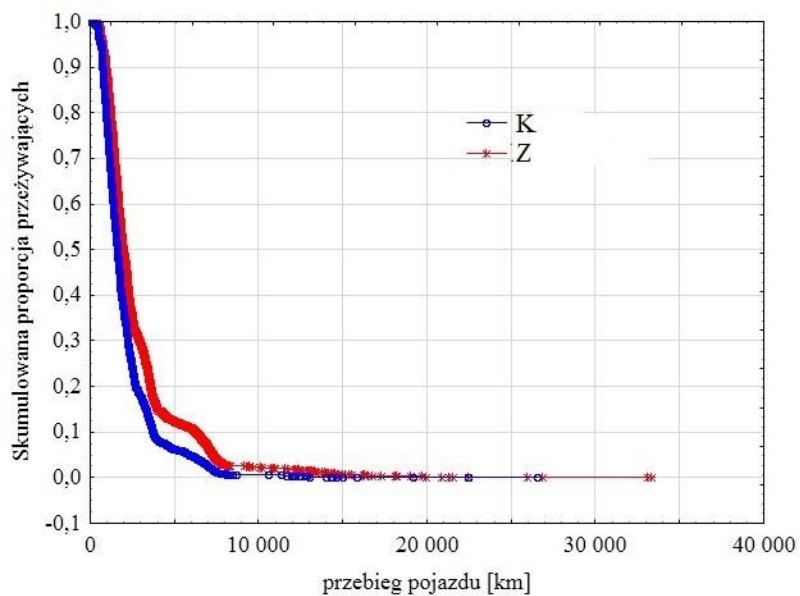
Marka pojazdu	Parametr kształtu [c]	Parametr skali [b]
krajowe	1,3939	2295,2
zagraniczne	1,2901	3048,5

Wyniki aproksymacji rozkładu przebiegów między uszkodzeniami za pomocą modelu Weibull'a przedstawiono w tabeli 6.56. Na rysunku 6.38 przedstawiono wykresy funkcji niezawodności wyznaczone w oparciu o model Weibull'a.

Analizując charakterystyki niezawodnościowe przedstawione na rysunku 6.38 należy zauważyć, że prawdopodobieństwo nie wystąpienia uszkodzenia autobusów marki krajowej w przebiegu między uszkodzeniami wynosi 779 km, gdy $R^*(t) = 0,8$, a po przebiegu między uszkodzeniami równym 3226 km prawdopodobieństwo poprawnej pracy wynosi zaledwie $R^*(t) = 0,2$. Autobusy marki zagranicznej wykazują również obniżenie przebiegu między uszkodzeniami, ale po dłuższym okresie eksploatacji, odpowiednio $R^*(t) = 0,8$ przy ponad 947 km i $R^*(t) = 0,2$ przy przebiegu wynoszącym 4376 km. Prawdopodobieństwo, że w 63,2% autobusów nie wystąpią uszkodzenia dla pojazdów zagranicznych wynosi ponad 3000 km przebiegu między uszkodzeniami, natomiast dla autobusów krajowych prawie 2300 km przebiegu między uszkodzeniami.



Rys. 6. 38. Wykres funkcji niezawodności autobusów krajowych i zagranicznych [84]



Rys. 6. 39. Funkcja przetrwania Kaplan'a – Meier'a autobusów krajowych i zagranicznych

Tab. 6.57. Percentyle funkcji przeżycia autobusów krajowych i zagranicznych

Percentyle	Przebieg [km]	
	zagraniczne	krajowe
25 percentyl (dolny kwartył)	1337,99	1037,00
50 percentyl (mediana)	1954,41	1595,60
75 percentyl (górny kwartył)	3297,57	2424,33

Na rysunku 6.39 przedstawiono funkcję przetrwania Kaplan'a–Meier'a. Stwierdzono, że w przypadku autobusów krajowych krzywa przetrwania w początkowym etapie eksploatacji wykazuje o wiele szybszy spadek niż w przypadku autobusów zagranicznych.

W tabeli 6.57 podano percentyle funkcji przeżycia. Mediana rozkładu przebiegów między uszkodzeniami autobusów zagranicznych wynosi 1954 km, natomiast dla autobusów krajowych jest o ponad 350 km niższa.

6.4.2. Charakterystyki niezawodności układów i elementów konstrukcyjnych

Struktura konstrukcyjno-funkcjonalna pojazdu może być rozpatrywana z różnych punktów widzenia w zależności od prowadzonej analizy, najczęściej jednak stosuje się podejście wyróżniające: układy, zespoły, węzły konstrukcyjne i elementy. Tego typu dekompozycja pojazdu, ze względu na swój uniwersalizm, pozwala na zastosowanie jej zarówno w analizie konstrukcji, jak i w badaniach niezawodności [24]. W niniejszej pracy struktura funkcjonalna autobusu została przyjęta z uwzględnieniem standardów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego oraz zgodnie z zaleceniami literatury [24], [30]. Wyróżniono 15 układów i podzespołów, które przedstawiono w Załączniku nr 6. Łącznie oszacowano charakterystyki niezawodnościowe poszczególnych układów pojazdów dla 42 autobusów, spośród zawartych m.in. w opracowaniach: [79], [83], [66], [80].

Przyjęto, że uszkodzenie układu równoznaczne jest z uszkodzeniem co najmniej jednego podzespołu (elementu) należącego do danego układu. A zatem uszkodzenie autobusu jest równoznaczne z uszkodzeniem co najmniej jednego elementu.

Z uwagi na bardzo małą liczbę uszkodzeń występującą w układach: kierowniczym, kratownicy, szyb oraz wycieraczek w analizie niezawodności nie uwzględniono tych układów.

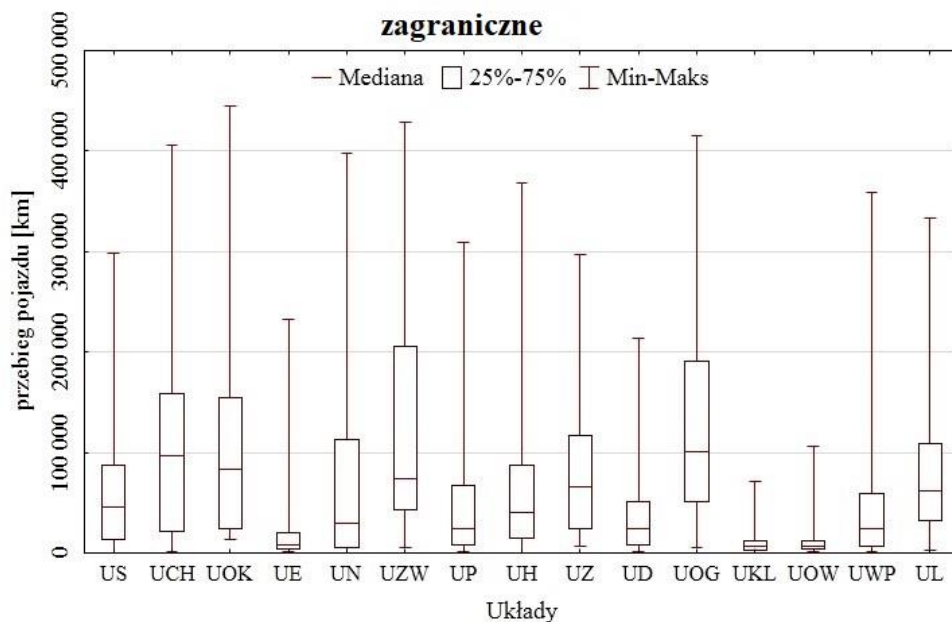
W tabelach 6.58 i 6.59 podano percentyle funkcji przetrwania bez uwzględnienia wyżej wymienionych układów. Mediana przebiegu między uszkodzeniami autobusów zagranicznych wynosi ponad 8,13 tys. km, natomiast dla autobusów krajowych jest ponad 620 km niższa.

Tab. 6.58. Percentyle funkcji przeżycia autobusów zagarnicznych

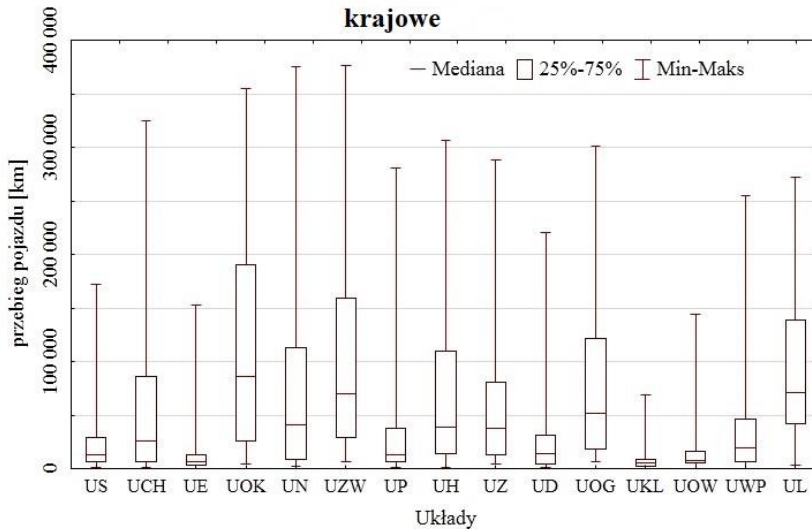
Percentyle	Przebieg [km]
25 percentyl (dolny kwartyl)	3 739,9
50 percentyl (mediana)	8 136,0
75 percentyl (górnny kwartyl)	25 917,0

Tab. 6.59. Percentyle funkcji przeżycia autobusów krajowych

Percentyle	Przebieg [km]
25 percentyl (dolny kwartyl)	3 583,9
50 percentyl (mediana)	7 509,9
75 percentyl (górnny kwartyl)	20 597,8



Rys. 6. 40. Wykresy ramkowe przebiegu eksploatacyjnego pomiędzy uszkodzeniami wybranych układów autobusów marki zagarnicznej: silnik (US), układ chłodzenia (UCH), ogrzewanie i klimatyzacja (UOK), układ elektryczny (UE), układ przeniesienia napędu (UN), układ zawieszenia (UZW), układ pneumatyczny (UP), układ hamulcowy (UH), układ zasilania (UZ), drzwi (UD), ogumienia (UOG), kolizje (UKL), oświetlenie (UOW), wyposażenie pojazdu (UWP) oraz lusterka (UL)



Rys. 6. 41. Wykresy ramkowe przebiegu eksploatacyjnego pomiędzy uszkodzeniami wybranych układów autobusów marki krajowej: silnik (US), układ chłodzenia (UCH), ogrzewanie i klimatyzacja (UOK), układ elektryczny (UE), układ przeniesienia napędu (UN), układ zawieszenia (UZW), układ pneumatyczny (UP), układ hamulcowy (UH), układ zasilania (UZ), drzwi (UD), ogumienia (UOG), kolizje (UKL), oświetlenie (UOW), wyposażenie pojazdu (UWP) oraz lusterka (UL)

Natomiast na rysunkach 6.40 i 6.41 przedstawiono wykresy ramkowe przebiegu między uszkodzeniami analizowanych układów konstrukcyjnych. Wartość środkowa przebiegu pomiędzy uszkodzeniami dla autobusów zagranicznych wynosi: dla układu chłodzenia i ogumienia około 100 tys. km, dla układu hamulcowego, silnika i układu zasilania około 50 tys. km, a dla układu elektrycznego, oświetlenia i kolizji poniżej 7 700 km. W przypadku autobusów krajowych mediana przebiegu pomiędzy uszkodzeniami jest niższa niż w przypadku autobusów zagranicznych i wynosi odpowiednio dla układu ogrzewania i klimatyzacji oraz zawieszenia około 85 tys. km, dla układu hamulcowego, napędowego, zasilania 40 tys. km oraz ogumienia 51,6 tys. km, a dla układu elektrycznego, pneumatycznego, drzwi, oświetlenia oraz kolizji 14 tys. km.

O zróżnicowaniu rozkładu niezawodności świadczą różne wartości parametru kształtu rozkładu Weibull'a aproksymującego wyniki empiryczne (tabela 6.60). W przypadku gdy wartość parametru kształtu jest zbliżona do jedności występuje rodzaj awaryjności losowej, niezależnej od przebiegu. W tym przypadku jest to układ zawieszenia ($c = 1,0703$ dla autobusu zagranicznego oraz $c = 1,065$ dla autobusu krajowego), oświetlenia ($c = 1,0516$ dla autobusu zagranicznego oraz $c = 1,0049$ dla autobusu krajowego) oraz kolizji ($c = 1,0429$ dla autobusu zagranicznego oraz $c = 1,0281$ dla autobusu krajowego) dla obu analizowanych marek pojazdów oraz układ chłodzenia ($c = 0,97823$), ogrzewania i klimatyzacji ($c = 1,0596$) dla autobusów zagranicznego i ($c = 1,1043$) dla autobusów krajowego, jak również układ ogumienia ($c = 0,99789$) dla pojazdów krajowych.

Tab. 6.60. Wyniki aproksymacji za pomocą rozkładu Weibull'a według marek pojazdu oraz ich układów. Parametry kształtu i skali

Marka pojazdu	Układ konstrukcyjny	Parametr kształtu [c]	Parametr skali [b]
zagraniczne	silnik (US)	0,94884	60 202
krajowe		0,92473	22 878
zagraniczne	chłodzenia (UCH)	0,97823	116 000
krajowe		0,72257	45 706
zagraniczne	zasilania (UZ)	1,1228	84 830
krajowe		0,93029	59 536
zagraniczne	hamulcowy (UH)	0,89153	62 511
krajowe		0,88570	71 655
zagraniczne	przeniesienia napędu (UN)	0,63640	54 033
krajowe		0,77147	74 397
zagraniczne	zawieszenia (UZW)	1,0703	139 200
krajowe		1,0650	111 700
zagraniczne	elektryczny (UE)	0,85514	17 717
krajowe		0,96719	10 895
zagraniczne	pneumatyczny (UP)	0,87898	45 687
krajowe		0,75355	28 881
zagraniczne	ogrzewanie i klimatyzacja (UOK)	1,0596	116 300
krajowe		1,1043	122 800
zagraniczne	drzwi (UD)	0,91674	37 039
krajowe		0,84302	23 713
zagraniczne	ogumienie (UOG)	1,2647	127 100
krajowe		0,99789	83 103
zagraniczne	oświetlenie (UOW)	1,0516	10 386
krajowe		1,0049	14 236

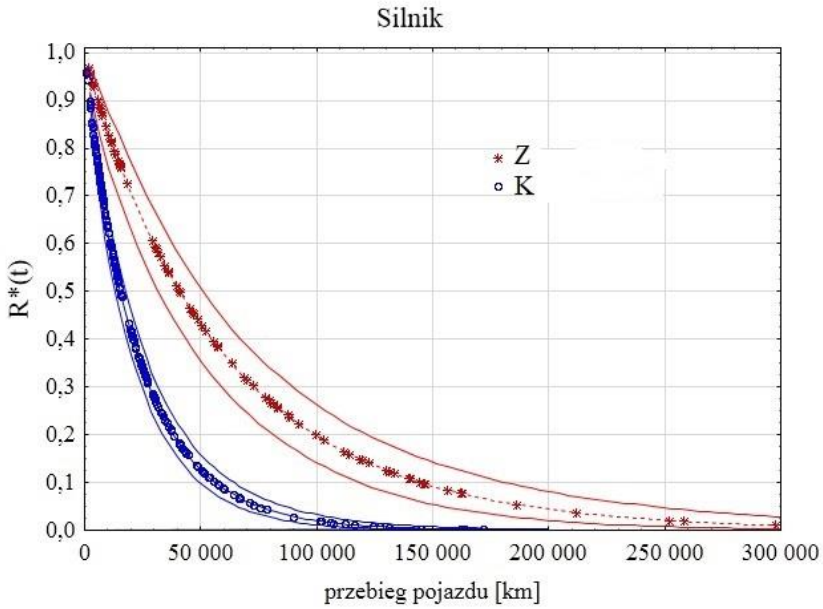
Marka pojazdu	Układ konstrukcyjny	Parametr kształtu [c]	Parametr skali [b]
zagraniczne	kolizje (UKL)	1,0429	9 426
krajowe		1,0281	7 839
zagraniczne	wyposażenie pojazdu (UWP)	0,8768	40 349
krajowe		0,8549	32 078
zagraniczne	lusterka (UL)	0,9065	82 690
krajowe		1,2453	102 500

Parametr skali, inaczej wartość charakterystyczna, informuje po jakim przebiegu między uszkodzeniami pojazdu 63,2% obserwowanych autobusów ulegnie awarii. Dla układu zawieszenia i ogrzewania i klimatyzacji w autobusach obu marek oraz układu chłodzenia i ogumienia pojazdów zagranicznych 63,2% autobusów ulegnie awarii przy przebiegu między uszkodzeniami ponad 100 tys. km. Dla układu hamulcowego i pneumatycznego wartość ta jest o połowę niższa i wynosi około 60 tys. km. Natomiast dla układów: elektrycznego i oświetlenia 63,2% analizowanych autobusów obu marek ulegnie awarii przy 20 tys. km przebiegu między uszkodzeniami.

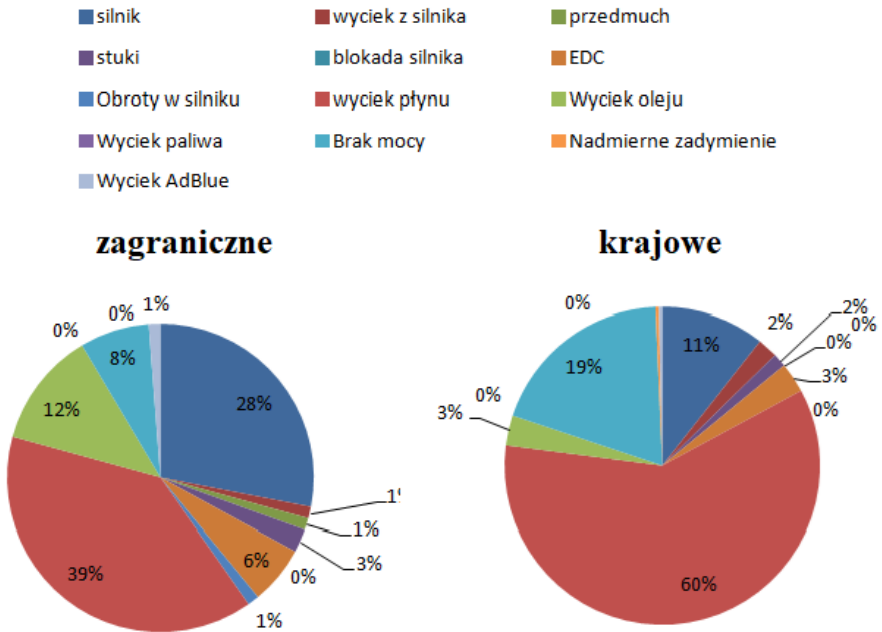
Na rysunkach 6.42–6.57 zaprezentowano wyniki oceny niezawodnościowej wszystkich analizowanych układów autobusów zagranicznych i krajowych. Na wykresach widoczna jest również linia dopasowania do punktów pomiarowych. Zaznaczono również linie ograniczające przedział ufności na poziomie 95%.

W przypadku silnika (rysunek 6.42) w autobusach krajowych prawdopodobieństwo poprawnej pracy wynoszące $R^*(t) = 0,8$ występuje po 4,44 tys. km przebiegu między uszkodzeniami. Prawdopodobieństwo nie wystąpienia uszkodzenia przy $R^*(t) = 0,5$ uzyskuje się po 15,068 tys. km przebiegu między uszkodzeniami w całej analizowanej grupie autobusów. Dla autobusów zagranicznych prawdopodobieństwo poprawnej pracy $R^*(t) = 0,8$ stwierdza się po zadanym przebiegu 12 tys. km między uszkodzeniami.

W przypadku autobusów zagranicznych w okresie pierwszych 39,58 tys. km przebiegu między uszkodzeniami prawdopodobieństwo poprawnej pracy spada o 50%. W silniku uszkodzenia niektórych elementów układu powtarzały się okresowo, a niektóre z nich nie uległy uszkodzeniu ani razu (rysunek 6.43). Może to być wynikiem zmiennego poziomu wpływów destrukcyjnych na poszczególne części silnika. Z ważniejszych uszkodzeń podczas pracy pojazdu w tym systemie należy wyróżnić następujące rodzaje uszkodzeń: wyciek płynu, obroty silnika oraz brak mocy.



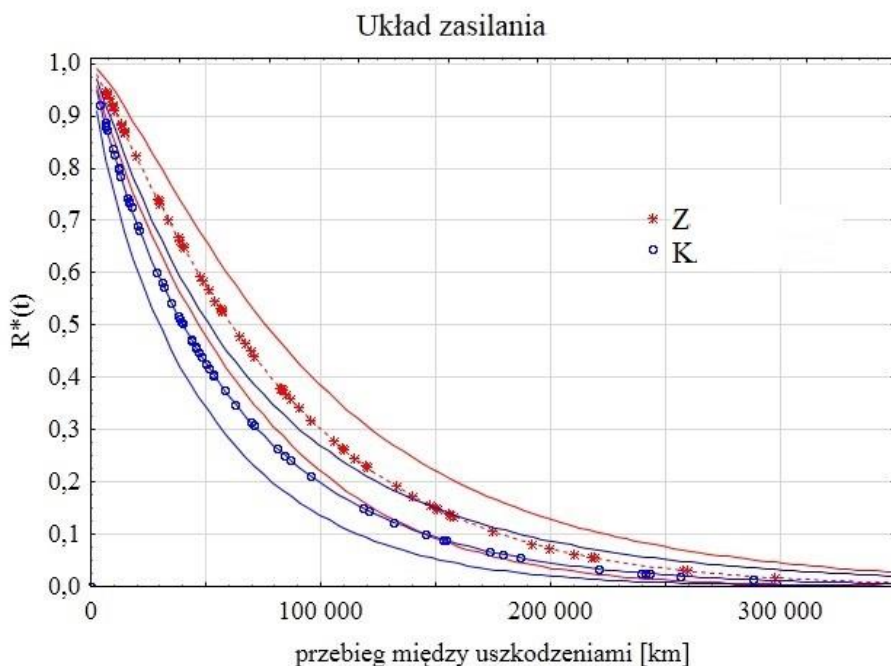
Rys. 6. 42. Wykres funkcji niezawodności silnika autobusów krajowych i zagranicznych



Rys. 6. 43. Udział procentowy usterek poszczególnych elementów silnika autobusów krajowych i zagranicznych

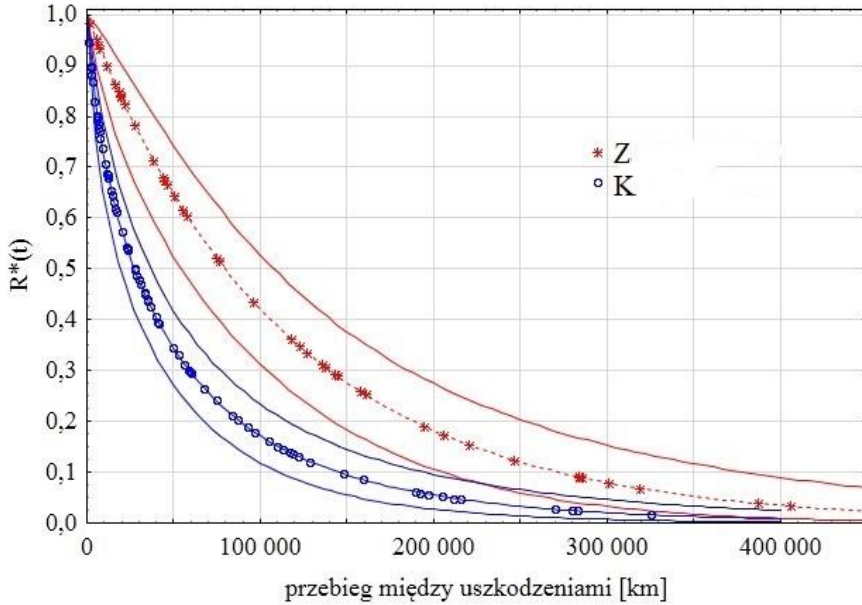
Prawdopodobieństwo poprawnej pracy układu zasilania i chłodzenia autobusów obu marek maleje w całym analizowanym przebiegu pojazdów. W obu analizowanych układach autobusy zagraniczne mają dłuższy przebieg między uszkodzeniami, niż autobusy krajowe. Analizując układ zasilania (rysunek 6.44) zauważono równomierny spadek wartości funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy dla obu marek autobusów. Warto jednak podkreślić że prawdopodobieństwo to dla autobusów zagranicznych jest wyższe średnio o ponad 10 tys. km przebiegu między uszkodzeniami. W autobusach zagranicznych spadek wartości funkcji $R^*(t)$ dla układu chłodzenia (rysunek 6.45) jest początkowo nieznaczny, osiągając 76,2 tys. km przebiegu między uszkodzeniami, gdy $R^*(t) = 0,5$, podczas gdy niezawodność $R^*(t) = 0,5$ autobusu krajowego osiągana jest już po 27,4 tys. km przebiegu między uszkodzeniami.

W przypadku układu przeniesienia napędu (rysunek 6.46), poziom prawdopodobieństwa nie wystąpienia uszkodzenia, gdy $R^*(t) = 0,5$ uzyskuje się przy przebiegu między uszkodzeniami równym 29 616 km dla autobusu zagranicznego oraz 44 647 km dla autobusu krajowego. Po około 250 tys. km przebiegu dla obu marek pojazdów prawdopodobieństwo poprawnej pracy wynosi $R^*(t) = 0,1$ i stabilizuje się.



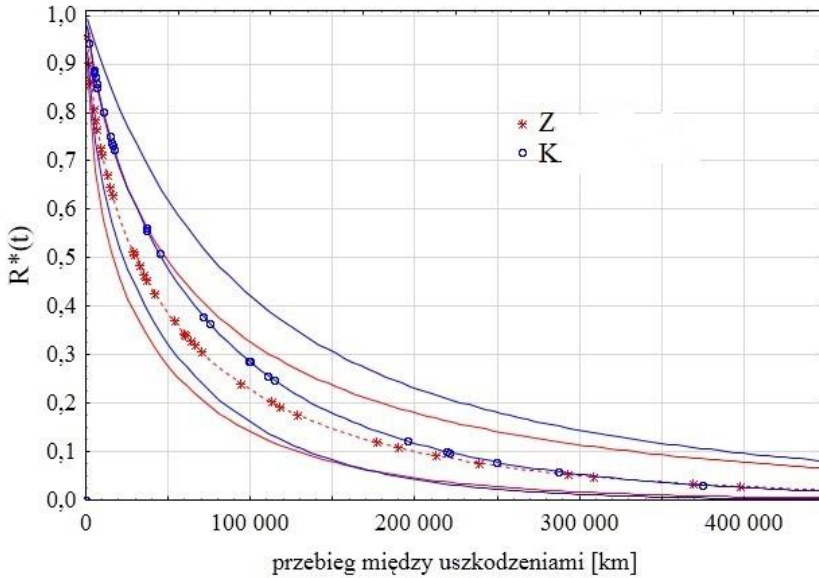
Rys. 6. 44. Wykres funkcji niezawodności układu zasilania autobusów krajowych i zagranicznych

Układ chłodzenia



Rys. 6. 45. Wykres funkcji niezawodności układu chłodzenia autobusów krajowych i zagranicznych

Układ przeniesienia napędu



Rys. 6. 46. Wykres funkcji niezawodności układu przeniesienia napędu autobusów krajowych i zagranicznych

W przypadku układu zawieszenia (rysunek 6.47) w autobusach krajowych prawdopodobieństwo nie wystąpienia uszkodzenia zaczyna być widoczne po przebiegu 23 tys. km między uszkodzeniami, gdy $R^*(t) = 0,8$. Poziom $R^*(t) = 0,5$ uzyskuje się po przebiegu 80,07 tys. km. Dla autobusów zagranicznych poziom $R^*(t) = 0,8$ stwierdza się po przebiegu 30 tys. km. W przypadku autobusów zagranicznych w okresie pierwszych ponad 94,44 tys. km przebiegu prawdopodobieństwo poprawnej pracy spada o 50%.

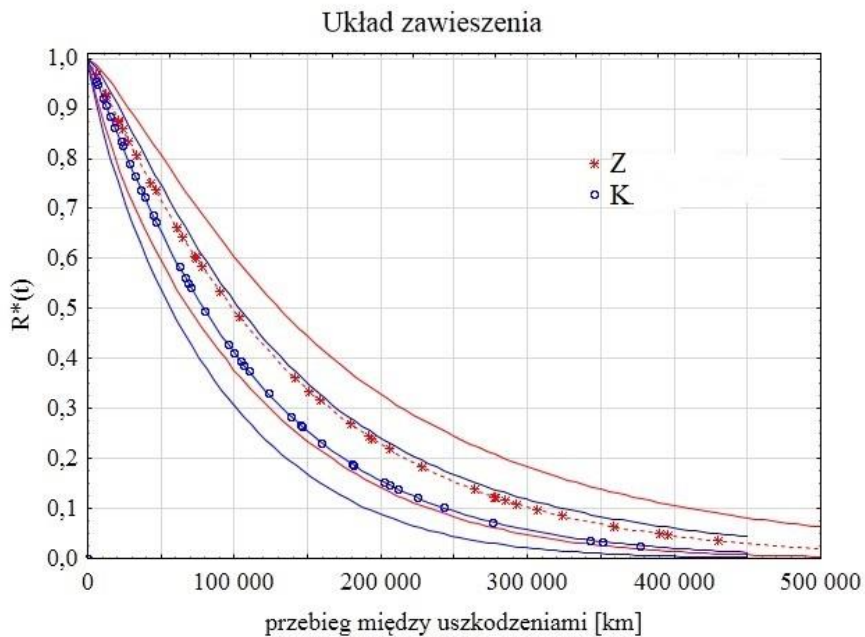
Podobna prawidłowość występuje w przypadku układu hamulcowego (rysunek 6.48), gdzie prawdopodobieństwo poprawnej pracy $R^*(t) = 0,8$ stwierdzono po przebiegu między uszkodzeniami 11 tys. km i 13 tys. km, odpowiednio dla autobusów marki zagranicznej i krajowej, a $R^*(t) = 0,5$ po przebiegu 40,04 tys. km i 46,69 tys. km odpowiednio dla obu marek pojazdów. Kształt krzywych w obu analizowanych markach pojazdów jest zbliżony.

W układzie elektrycznym zaobserwowano najwięcej uszkodzeń spośród wszystkich analizowanych układów (rysunek 6.49). W autobusach krajowych spadek funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy zaczyna być widoczny po zadanym przebiegu między uszkodzeniami równym 2,29 tys. km ($R^*(t) = 0,8$). Poziom $R^*(t) = 0,5$ uzyskuje się po przebiegu 7,36 tys. km. Dla autobusów zagranicznych poziom $R^*(t) = 0,8$ stwierdza się po przebiegu 2,9 tys. km. W przypadku autobusów zagranicznych w okresie pierwszych ponad 11,36 tys. km przebiegu prawdopodobieństwa poprawnej pracy spada o 50%. Z ważniejszych uszkodzeń podczas pracy układu elektrycznego w przypadku obu marek pojazdów należy wyróżnić następujące ich rodzaje: instalacja elektryczna, alternator oraz przerywacz kierunkowskazów.

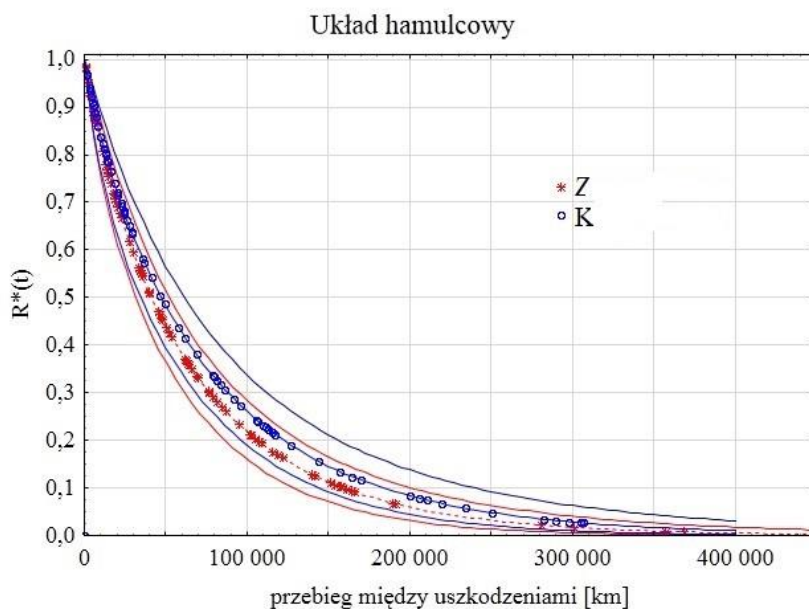
Podobna prawidłowość występuje w przypadku układu pneumatycznego (rysunek 6.50.), gdzie prawdopodobieństwa poprawnej pracy $R^*(t) = 0,8$ stwierdza się po przebiegu między uszkodzeniami 8,05 tys. km i 3,64 tys. km, odpowiednio dla autobusów zagranicznych i krajowych, a $R^*(t) = 0,5$ po przebiegu 29,23 tys. km i 17,36 tys. km odpowiednio dla obu marek pojazdów.

Prawdopodobieństwo nie wystąpienia uszkodzenia układu ogrzewania i klimatyzacji autobusów obu marek w całym analizowanym przebiegu pojazdów maleje i jest porównywalne (rysunek 6.51). W analizowanym układzie autobusy krajowe mają nieznacznie wyższy poziom prawdopodobieństwa poprawnej pracy, niż autobusy zagraniczne. Spadek wartości funkcji $R^*(t)$ autobusu krajowego jest początkowo nieznaczny, osiągając 87,42 tys. km przebiegu między uszkodzeniami, przy $R^*(t) = 0,5$, podczas gdy autobusu zagranicznego osiągnęty jest po ponad 81,95 tys. km.

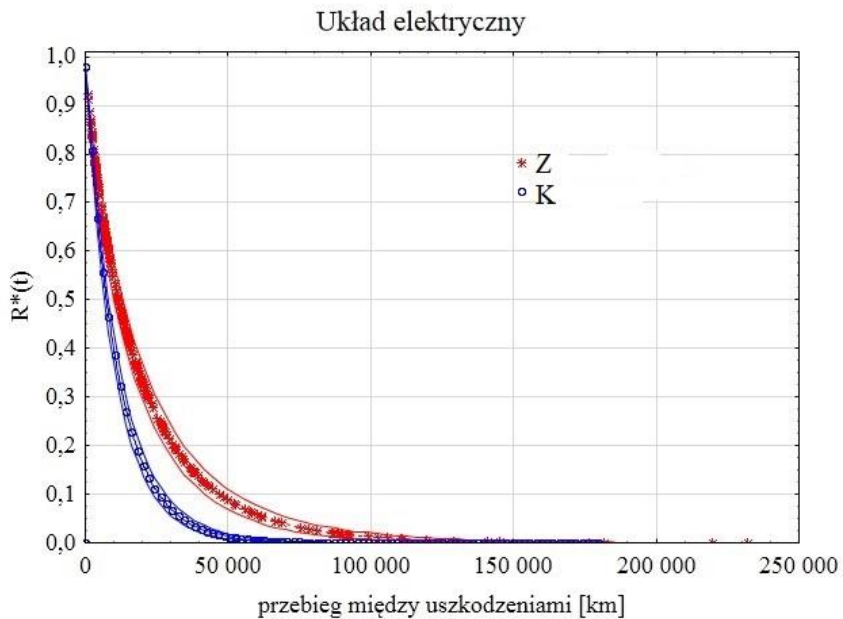
Prawdopodobieństwo poprawnej pracy ogumienia (rysunek 6.52) autobusów obu marek w okresie eksploatacji, przy przebiegu do około 160 tys. km maleje równomiernie. Po tym przebiegu między uszkodzeniami następuje szybszy spadek funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy dla autobusów zagranicznych. Dla autobusów zagranicznych wartości funkcji $R^*(t) = 0,5$ osiągnięta jest po przebiegu 94,4 tys. km, podczas gdy dla autobusu krajowego osiągnięta jest już po ponad 54,5 tys. km.



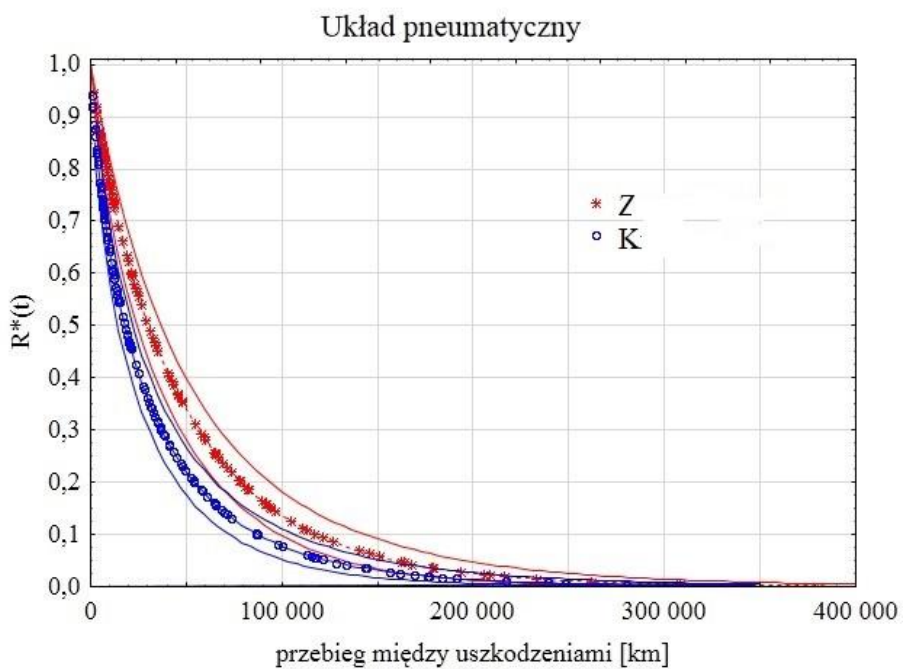
Rys. 6. 47. Wykres funkcji niezawodności układu zawieszenia autobusów krajowych i zagranicznych



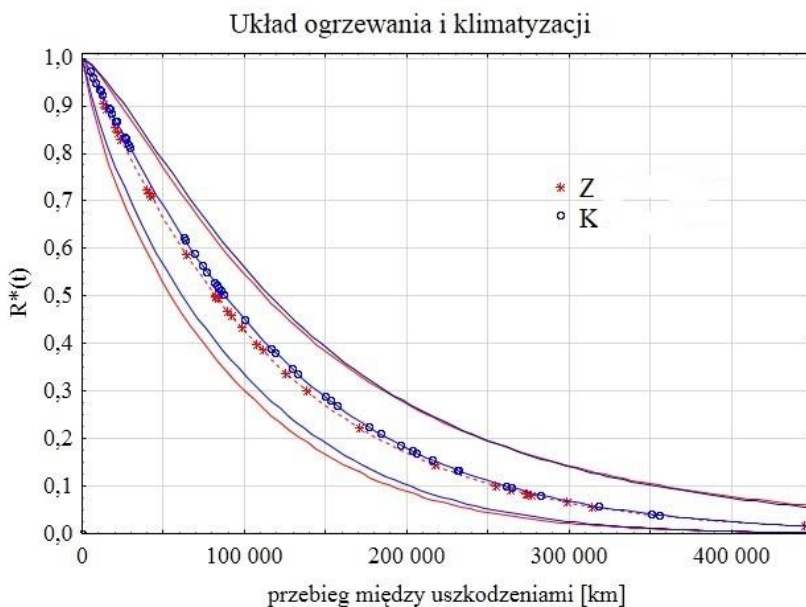
Rys. 6. 48. Wykres funkcji niezawodności układu hamulcowego autobusów krajowych i zagranicznych



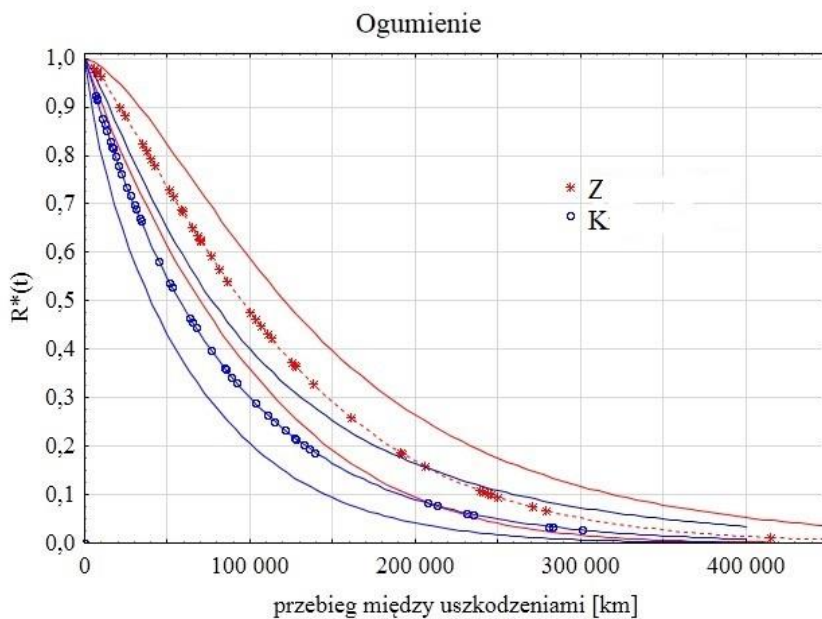
Rys. 6. 49. Wykres funkcji niezawodności układu elektrycznego autobusów krajowych i zagranicznych



Rys. 6. 50. Wykres funkcji niezawodności układu pneumatycznego autobusów krajowych i zagranicznych

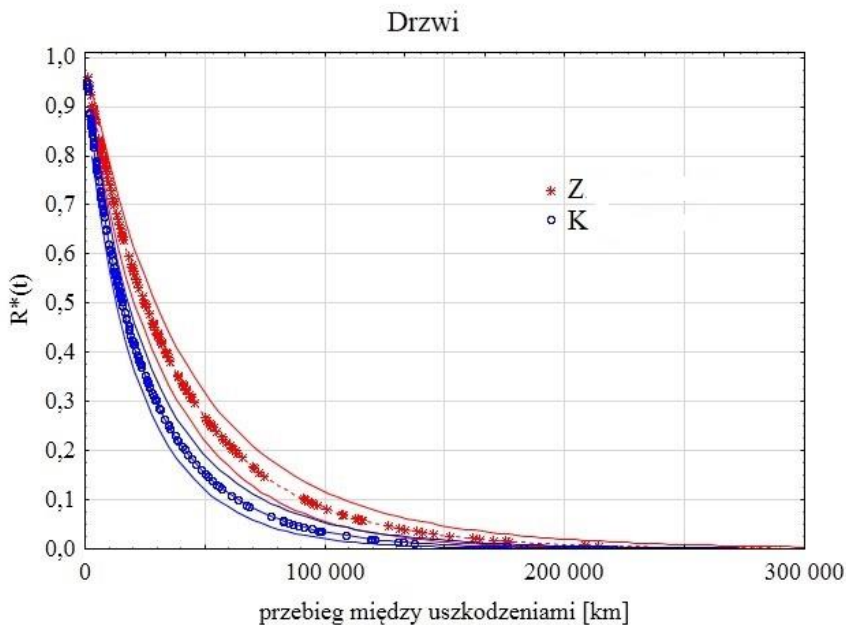


Rys. 6. 51. Wykres funkcji niezawodności układu ogrzewania i klimatyzacji autobusów krajowych i zagranicznych



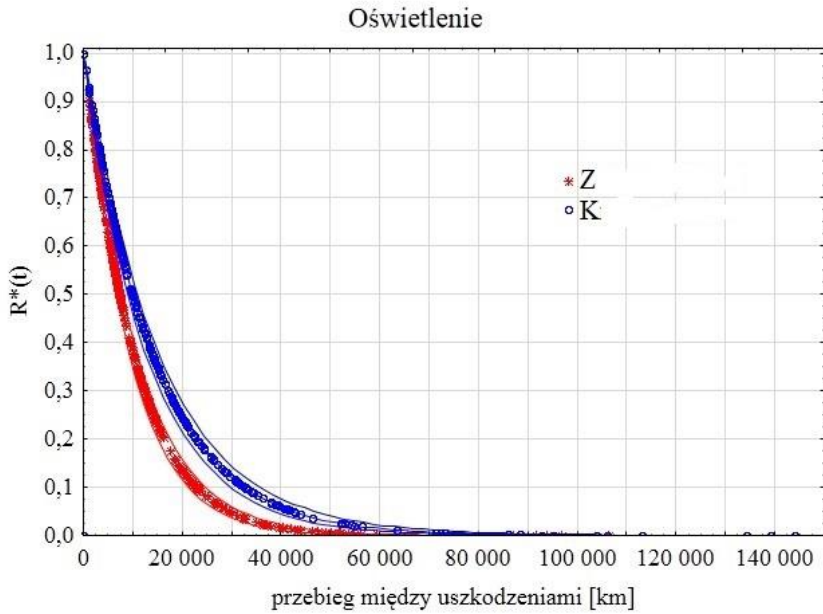
Rys. 6. 52. Wykres funkcji niezawodności ogumienia autobusów krajowych i zagranicznych

Prawdopodobieństwa poprawnej pracy układu drzwi (rysunek 6.53.) i oświetlenia (rysunek 6.54) autobusów obu marek w całym analizowanym przebiegu pojazdów maleje. W układzie drzwi autobusy zagraniczne mają wyższy poziom prawdopodobieństwa poprawnej pracy, niż autobusy krajowe, podczas gdy w układzie ogumienia sytuacja jest odwrotna. Dla obu marek autobusów w układzie drzwi spadek wartości funkcji $R^*(t)$ jest początkowo znaczny, prawdopodobieństwo poprawnej pracy spada do wartości $R^*(t) = 0,5$ po 24,78 tys. km i po 15,22 tys. km odpowiednio dla autobusów zagranicznych i krajowych. Analizując układ oświetlenia zauważono znaczący i wyraźny spadek prawdopodobieństwa nie wystąpienia uszkodzeń dla obu marek autobusów. Warto jednak zauważyć że prawdopodobieństwo to, dla autobusów krajowych jest wyższe średnio o ponad 2,5 tys. km przebiegu między uszkodzeniami.

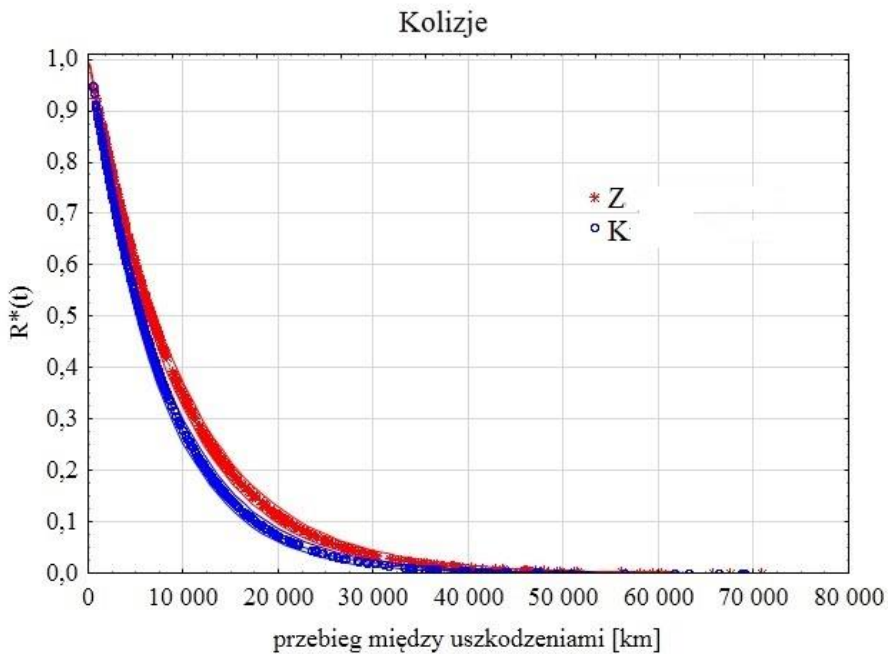


Rys. 6. 53. Wykres funkcji niezawodności drzwi autobusów krajowych i zagranicznych

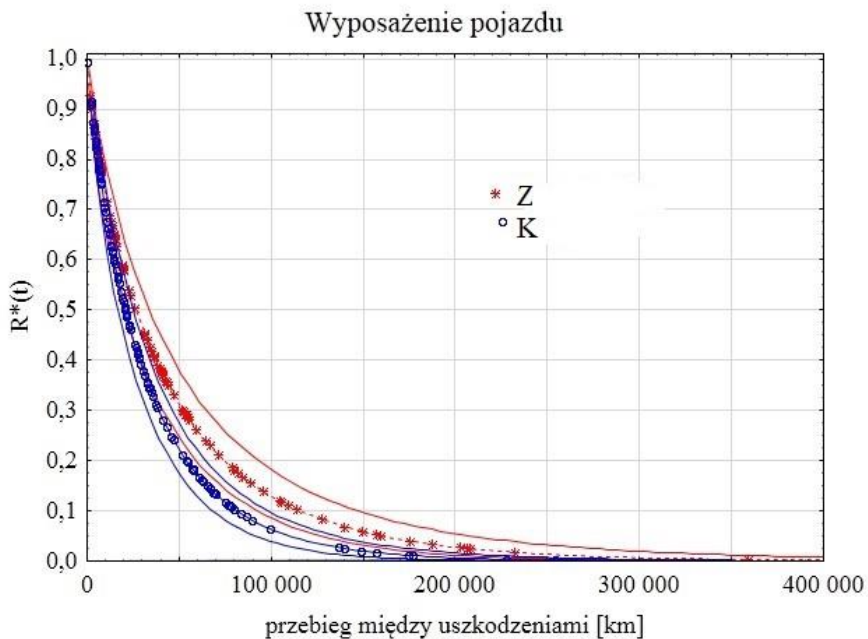
Prawdopodobieństwo poprawnej pracy pojazdów z uwzględnieniem kolizji drogowych tych pojazdów w całym analizowanym przebiegu pojazdów maleje proporcjonalnie (rysunek 6.55). Autobusy marki zagranicznej mają wyższy poziom prawdopodobieństwa, niż autobusy marki krajowej. Spadek ten i kształt krzywych jest porównywalny dla obu marek pojazdów. Dla autobusów zagranicznych spadek wartości funkcji $R^*(t) = 0,5$ następuje po osiągnięciu przebiegu między uszkodzeniami 6,62 tys. km, podczas gdy $R^*(t) = 0,5$ autobusu krajowego osiągana jest już po ponad 5,36 tys. km przebiegu między uszkodzeniami.



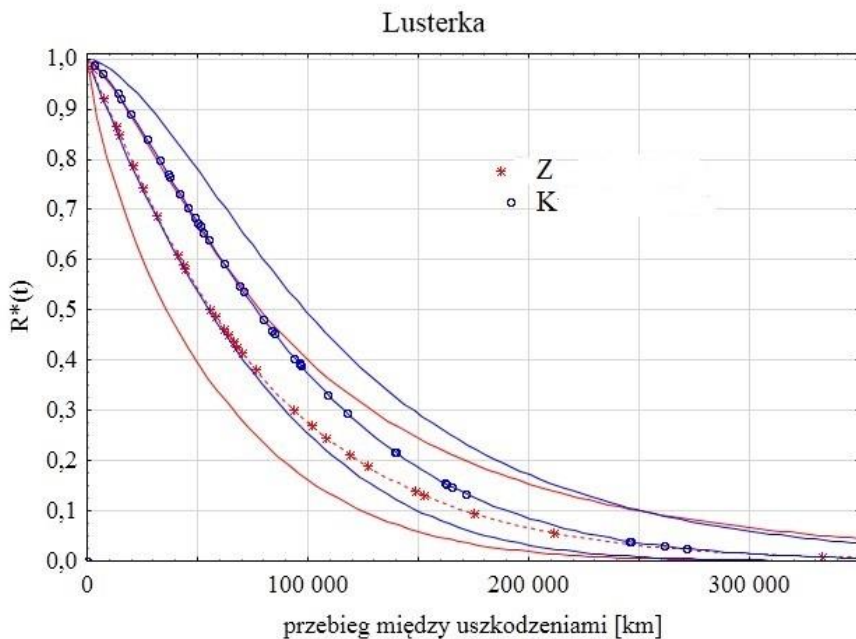
Rys. 6. 54. Wykres funkcji niezawodności oświetlenia autobusów krajowych i zagranicznych



Rys. 6. 55. Wykres funkcji niezawodności autobusów krajowych i zagranicznych determinowanej przez kolizje drogowe



Rys. 6. 56. Wykres funkcji niezawodności wyposażenia autobusów krajowych i zagranicznych



Rys. 6. 57. Wykres funkcji niezawodności lusterek autobusów krajowych i zagranicznych

W przypadku uszkodzeń związanych z wyposażeniem pojazdów (rysunek 6.56) w autobusach krajowych i zagranicznych spadek prawdopodobieństwa niewystąpienia uszkodzenia zaczyna być widoczny, po przebiegu odpowiednio 5,8 tys. km oraz 6,5 tys. km ($R^*(t) = 0,8$). Poziom $R^*(t) = 0,5$ uzyskuje się po przebiegu 20,54 tys. km i 25,96 tys. km dla autobusów krajowych i zagranicznych. Kształt krzywych w analizowanych markach pojazdów jest różny i można zauważyć szybszy spadek prawdopodobieństwa poprawnej pracy dla autobusów krajowych. Inna zależność występuje w przypadku uszkodzeń lusterek, gdzie prawdopodobieństwo poprawnej pracy dla autobusów krajowych jest prawie dwukrotnie wyższe, niż dla autobusów zagranicznych. $R^*(t) = 0,8$ stwierdza się po przebiegu 32,9 tys. km i 18,1 tys. km, odpowiednio dla autobusów krajowych i zagranicznych, a $R^*(t) = 0,5$ po przebiegu 79,89 tys. km i 55,87 tys. km odpowiednio dla obu marek pojazdów.

6.4.3. Podsumowanie oceny niezawodności

Przedstawiono wyniki badań dotyczące uszkodzeń autobusów w rzeczywistym systemie eksploatacji. Analiza uszkodzeń obejmuje cały obserwowany okres eksploatacji autobusów (72 miesiące obserwacji). Wyznaczono wskaźniki niezawodności układów konstrukcyjnych analizowanych pojazdów. Uszkodzenia eksploatacyjne autobusów krajowych występują częściej, niż uszkodzenia autobusów zagranicznych. Świadczy o tym liczba uszkodzeń w całym analizowanym okresie eksploatacji (tabela. 6.55).

Należy zwrócić uwagę na duży rozrzut wyników w poszczególnych układach konstrukcyjnych tych pojazdów. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że autobusy zagraniczne charakteryzują się większym przebiegiem pomiędzy uszkodzeniami niż autobusy krajowe. Średnia wartość przebiegu między uszkodzeniami wynosi 2786 km w przypadku autobusów zagranicznych oraz 1787 km w przypadku autobusów krajowych. Mediana rozkładu przebiegów między uszkodzeniami jest niższa od średniej dla obu analizowanych marek pojazdów o prawie 200 km dla autobusów krajowych oraz ponad 830 km dla autobusów zagranicznych.

Wykazano również, że niezawodność poszczególnych układów konstrukcyjnych jest różna w zależności od marki autobusu (tabela 6.61). W obu badanych pojazdach największa liczba uszkodzeń związana jest z układem elektrycznym. Prawdopodobieństwo poprawnej pracy tego układu jest najniższe, a przebiegi między uszkodzeniami najkrótsze spośród wszystkich analizowanych układów.

W przypadku obu marek najbardziej wyróżniającymi się źródłami uszkodzeń okazały się układ elektryczny, silnik i oświetlenie oraz kolizje drogowe. Natomiast największą niezawodność stwierdzono w przypadku układów zawieszenia, ogrzewania i klimatyzacji oraz ogumienia.

Tab. 6.61. Zestawienie wyników oceny niezawodności dla $R^*(t) = 0,5$ [81]

Lp.	Układ konstrukcyjny	Przebieg między uszkodzeniami [km]	
		krajowe	zagraniczne
1.	silnik (US)	15 068	39 580
2.	chłodzenia (UCH)	27 364	76 200
3.	zasilania (UZ)	46 969	58 090
4.	hamulcowy (UH)	46 693	40 040
5.	przeniesienia napędu (UN)	44 647	29 616
6.	zawieszenia (UZW)	80 076	94 444
7.	elektryczny (UE)	7 360	11 361
8.	pneumatyczny (UP)	17 355	29 233
9.	ogrzewanie i klimatyzacja (UOK)	87 424	81 946
10.	drzwi (UD)	15 215	24 779
11.	ogumienie (UOG)	54 545	94 444
12.	oświetlenie (UOW)	9 867	7 325
13.	kolizje (UKL)	5 364	6 616
14.	wyposażenie pojazdu (UWP)	20 540	25 963
15.	lusterka (UL)	79 892	55 874

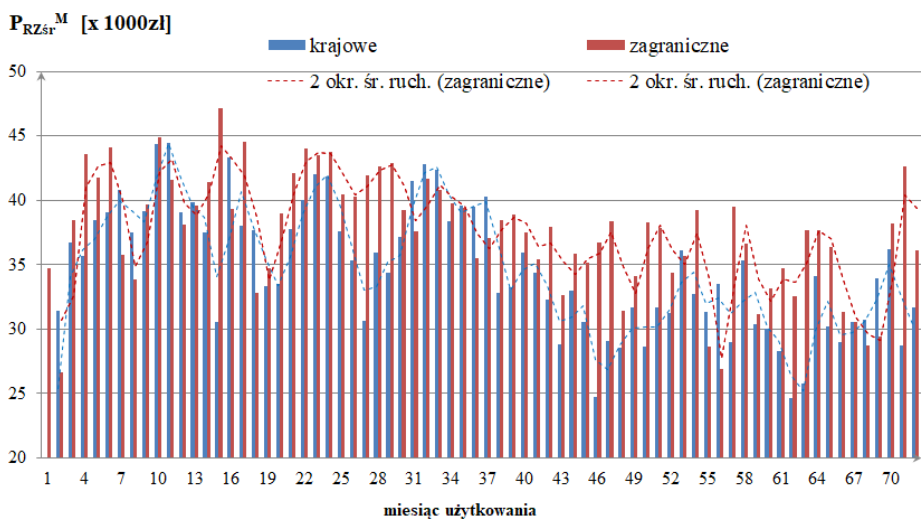
Analizując uszkodzenia poszczególnych układów w autobusach krajowych stwierdzono, iż najczęściej uszkadzały się układy: elektryczny, silnik, drzwi oraz oświetlenia. Często występowały również usterki związane z kolizjami drogowymi. Natomiast największe przebiegi między uszkodzeniami wystąpiły w układach ogrzewania i klimatyzacji, lusterkach oraz w układzie zawieszenia. W autobusach zagranicznych zaobserwowano, że najczęściej uszkadzają się cztery następujące układy: elektryczny, pneumatyczny, drzwi, oświetlenie oraz uszkodzenia spowodowane kolizjami drogowymi.

7. DYSKUSJA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ AUTOBUSÓW

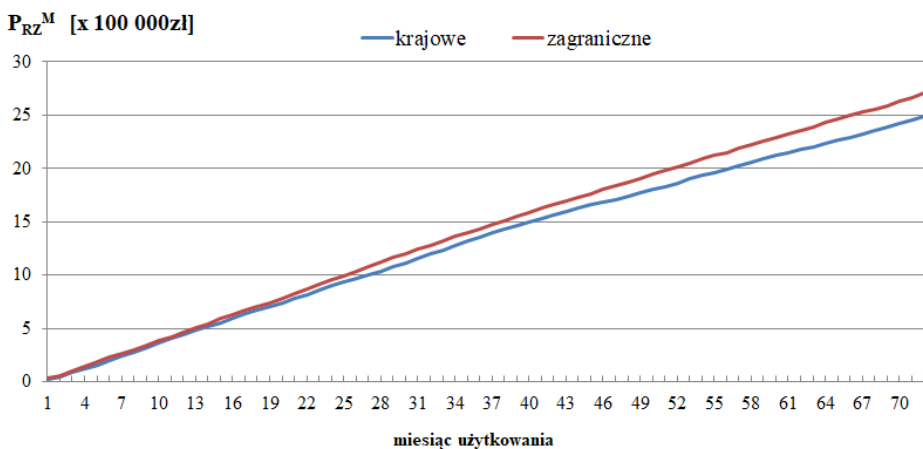
7.1. Wskaźniki przychodów

Wskaźniki przychodów analizowanych autobusów krajowych i zagranicznych przedstawiono w zależności od czasu kalendarzowego. Obliczenia wykonano na podstawie wzoru 4.3 przedstawionego w rozdziale 4. Na rysunku 7.1 zaprezentowano wykres średnich przychodów rzeczywistych $P_{RZ,Śr}$ w ujęciu miesięcznym. W pierwszym okresie eksploatacji (do około 45 miesiąca eksploatacji) średni przychód rzeczywisty autobusów krajowych wyniósł średnio 36,8 tys zł na 1 autobus, natomiast autobusów zagranicznych 39,2 tys zł na 1 autobus. Tak znaczący przychód w początkowym okresie eksploatacji tj. w okresie gwarancyjnym, jak i w okresie nieustabilizowanych własności eksploatacyjnych w znacznym stopniu spowodowany był niskimi kosztami użytkownika i małą liczbą uszkodzeń. Następnie widać że wskaźnik ten maleje, osiągając w 62 miesiącu wartość minimalną równą 24,6 tys zł dla autobusu krajowego. Średni miesięczny przychód w całym badanym okresie 72 miesięcy eksploatacji wyniósł 34 521 zł na 1 autobus krajowy i 37 553 zł na 1 autobus zagraniczny. W przypadku autobusów zagranicznych średni miesięczny przychód był zatem wyższy o ponad 3000 zł na 1 autobus, przy odchyleniu standardowym równym 4,5 tys zł. Skumulowany rzeczywisty przychód (rysunek 7.2) po okresie 72 miesięcy użytkowania pojazdu wyniósł 2,485 mln zł na 1 autobus krajowego, natomiast w przypadku autobusu zagranicznego był wyższy o ponad 218 tys zł na 1 autobus.

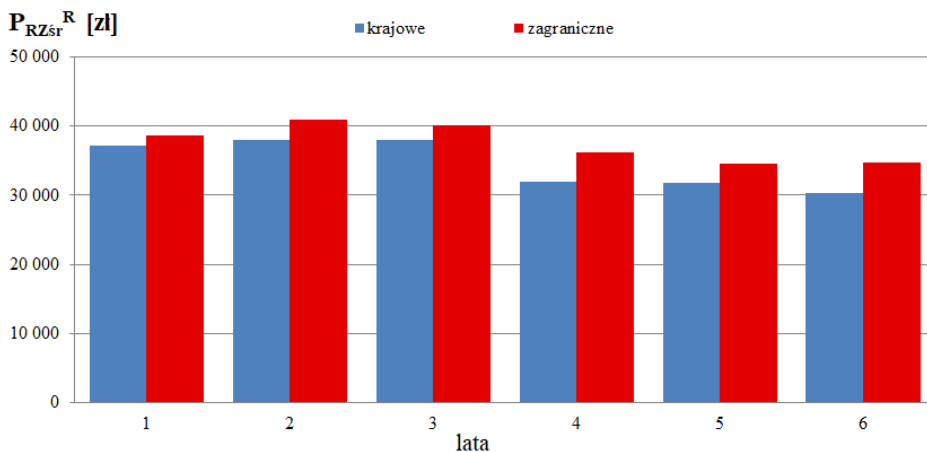
Wykres średniego miesięcznego przychodu autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym przedstawiono na rysunku 7.3, a ich statystyki opisowe w tabeli 7.1. W okresie pierwszych trzech lat, czyli w okresie nieustabilizowanych własności eksploatacyjnych zauważyć można stały poziom przychodu (w przeliczeniu na 1 autobus). W drugim i trzecim roku eksploatacji przychód miesięczny wyniósł około 37,9 tys. zł na 1 autobus krajowy, przy odchyleniu standardowym równym około 3,7 tys. i 3,4 tys. zł. Dla autobusów zagranicznych średni przychód miesięczny wyniósł odpowiednio 40,5 tys. zł, przy odchyleniu standardowym około 3 tys. zł. Po 3 latach eksploatacji pojazdów spadek przychodu zaczyna być widoczny. Dla autobusów zagranicznych średni przychód jest najniższy w 5 roku eksploatacji, osiągając wartość 34 631 zł, przy średnim odchyleniu standardowym 3920 zł. Natomiast dla autobusów krajowych najniższy przychód uzyskano w 6 roku eksploatacji, osiągając wartość 30309 zł na 1 autobus. Średnie odchylenie standardowe wyniosło 3230 zł.



Rys. 7.1. Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania [32]



Rys. 7.2. Skumulowany miesięczny przychód rzeczywisty autobusów



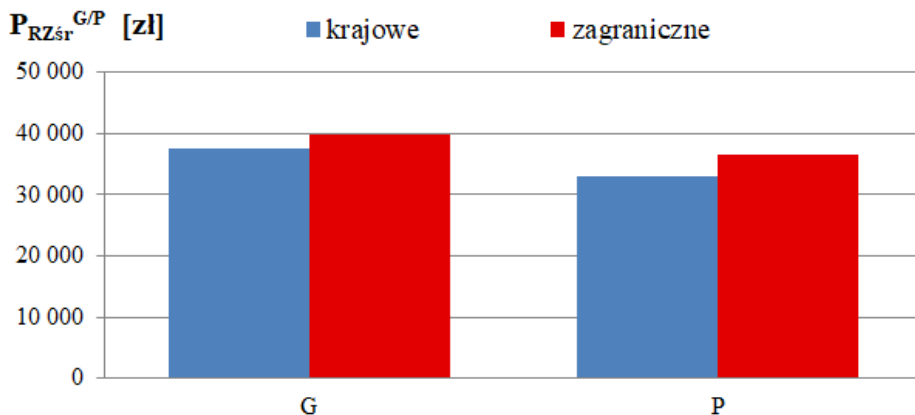
Rys. 7.3. Średni miesięczny przychód rzeczywisty w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Tab. 7.1. Statystyki opisowe średniego miesięcznego przychodu rzeczywistego autobusów krajowych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

lata	Przychód rzeczywisty autobusów krajowych [zł]				
	średnia ($P_{RZ\bar{s}r}^R$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	37147	6365	0,171	19247	44407
2	37956	3713	0,098	30571	43333
3	37945	3404	0,090	30672	42814
4	31973	3867	0,121	24696	40318
5	31791	2200	0,069	28628	36081
6	30309	3230	0,107	24632	36195

Tab. 7.2. Statystyki opisowe średniego miesięcznego przychodu rzeczywistego autobusów zagranicznych w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

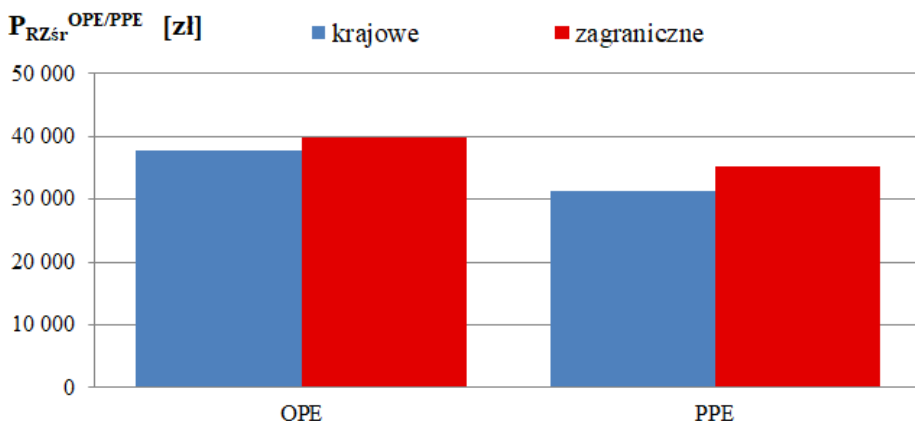
lata	Przychód rzeczywisty autobusów zagranicznych [zł]				
	średnia ($P_{RZ\bar{s}r}^R$)	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	38598	5018	0,130	26653	44865
2	40974	3969	0,097	32831	47137
3	40181	2033	0,051	35483	42918
4	36265	2242	0,062	31389	38918
5	34631	3920	0,113	26920	39491
6	34668	4014	0,116	28772	42635



Rys. 7.4. Średni miesięczny przychód rzeczywisty w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Tab. 7.3. Statystyki opisowe średniego miesięcznego przychodu rzeczywistego w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

okres	marka	Przychód rzeczywisty [zł]				
		Średnia ($P_{RZsr}^{G/P}$)	odch. stan.	wsp. zmie	w. min	w. max
G	krajowy	37552	5226	0,139	19247	44407
P		33005	4360	0,132	24632	42814
G	zagraniczny	39786	4677	0,118	26653	47137
P		36436	3908	0,107	26920	42918



Rys. 7.5. Średni miesięczny przychód rzeczywisty P_{RZsr} w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Tab. 7.4. Statystyki opisowe średniego miesięcznego przychodu rzeczywistego $Pr_{Z,sr}$ w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

okres	marka	Przychód rzeczywisty [zł]				
		Średnia ($Pr_{Z,sr}^{OPE/PPE}$)	odch. stan.	wsp. zmie	w. min	w. max
OPE	krajowe	37683	4702	0,125	19247	44407
PPE		31358	3261	0,104	24632	40318
OPE	zagraniczne	39918	4000	0,100	26653	47137
PPE		35188	3571	0,101	26920	42635

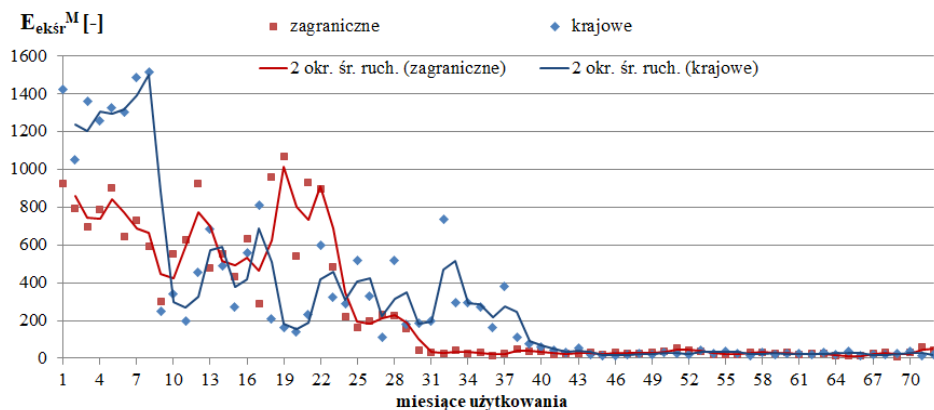
Jak wynika z rysunku 7.4 oraz tabeli 7.3 średni miesięczny przychód z użytkowania autobusów w okresie pogwarancyjnym (3–6 lat) był niższy niż w okresie gwarancyjnym (0–2 lat) dla obu marek pojazdów. Dla autobusów krajowych wyniósł on 37552 zł w okresie gwarancyjnym i 33005 zł w okresie pogwarancyjnym, natomiast dla autobusów zagranicznych wyniósł odpowiednio 39786 zł i 36436 zł.

Wyniki obliczeń średniego rzeczywistego przychodu autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) przedstawiono na rysunku 7.5, a szczegółowe statystyki opisowe w tabeli 7.4. W okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej, czyli w okresie 4–6 lat eksploatacji następuje spadek przychodów. Dla autobusów krajowych przychód w tym okresie wyniósł 31,4 tys. zł, a dla autobusów zagranicznych 35,2 tys. zł, podczas gdy w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej, czyli w pierwszych 3 latach użytkowania pojazdów wyniósł odpowiednio 37,7 tys. zł i 39,9 tys. zł.

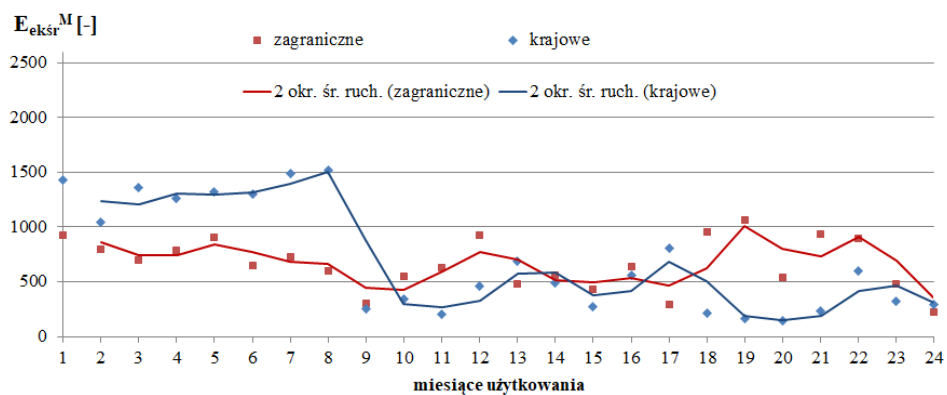
7.2. Porównanie efektywności eksploatacyjnej autobusów

Efektywność eksploatacyjną obliczono według wzoru 4.4. Obliczenia przeprowadzono w odniesieniu do wszystkich rozpatrywanych w niniejszej pracy kategorii okresów eksploatacyjnych: miesiąc, rok, gwarancyjnych i pogwarancyjnych oraz nieustabilizowanych i ustabilizowanych własności eksploatacyjnych.

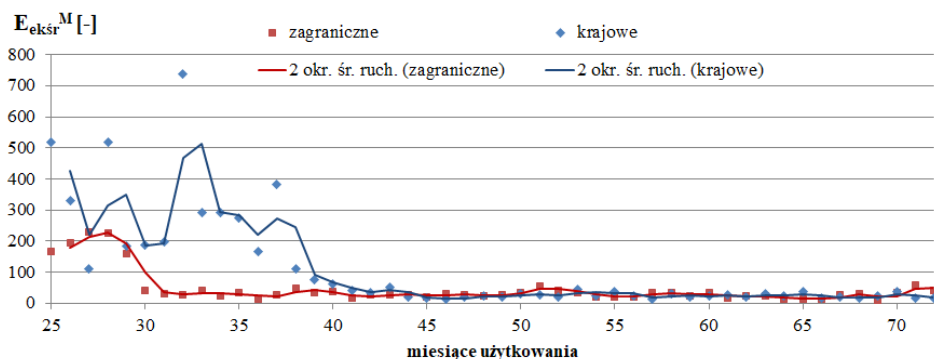
Na rysunku 7.6 zaprezentowano wykres efektywności eksploatacyjnej w ujęciu miesięcznym. Średnia efektywność eksploatacyjna autobusów krajowych uśredniona w całym badanym okresie 72 miesięcy eksploatacji wyniosła 306. Oznacza to że, 306 zł przychodu uzyskano po wydatkowaniu 1 zł na naprawę na jeden autobus w jednym miesiącu eksploatacji. Odpowiednio efektywność autobusów zagranicznych wyniosła 263. Zatem średnia efektywność eksploatacyjna autobusów krajowych była wyższa o 43 punkty.



Rys. 7.6. Efektywność eksploatacyjna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym [81]

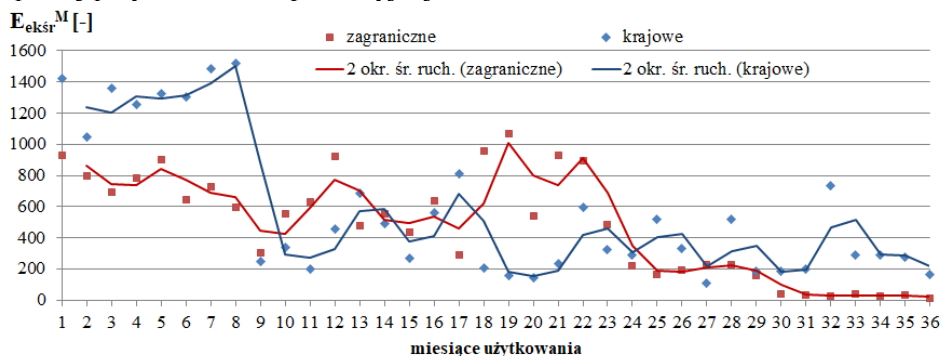


Rys. 7.7. Efektywność eksploatacyjna autobusów w okresie gwarancyjnym w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym

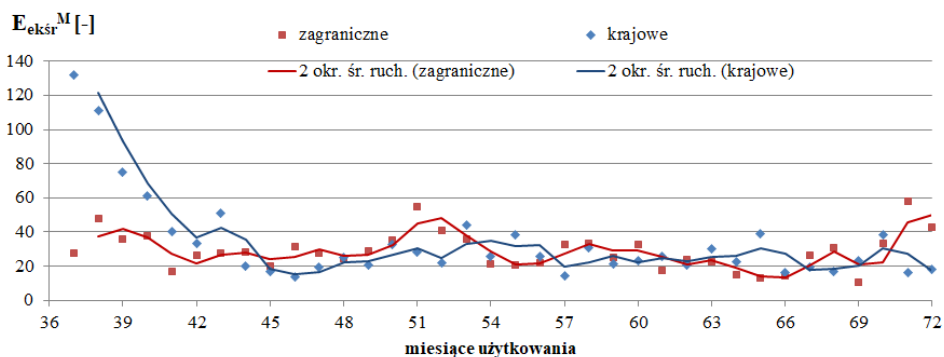


Rys. 7.8. Efektywność eksploatacyjna autobusów w okresie pogwarancyjnym w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym

Warto zauważyć, iż w pierwszym okresie eksploatacji, tj. do około 39 miesiąca użytkowania, efektywność eksploatacyjna zmieniała się znacząco w czasie. W dalszej części analizy zastosowano podział całego okresu użytkowania na okres gwarancyjny i pogwarancyjny oraz podział na okres ograniczonej i pełnej przydatności eksploatacyjnej.



Rys. 7.9. Efektywność eksploatacyjna autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym

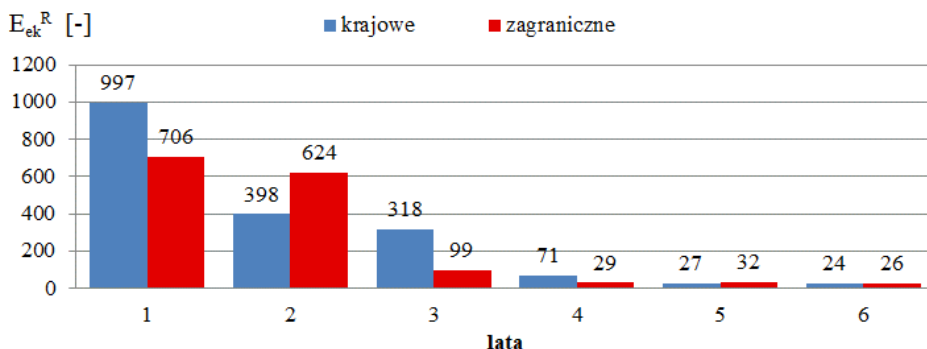


Rys. 7.10. Efektywność eksploatacyjna autobusów w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym

Na rysunku 7.7 przedstawiono efektywność eksploatacyjną autobusów w okresie gwarancyjnym w funkcji czasu użytkowania w ujęciu miesięcznym, a na rysunku 7.8 w okresie pogwarancyjnym. W okresie gwarancyjnym w pierwszych trzech kwartałach użytkowania pojazdów wyższą efektywność posiadają autobusy krajowe. Następnie efektywność tych pojazdów maleje i w ostatnich trzech kwartałach tego okresu efektywność eksploatacyjna jest wyższa w pojazdach zagranicznych. W okresie pogwarancyjnym w pierwszych 4 kwartałach eksploatacji różnica w efektywności badanych pojazdów jest znacząca na korzyść autobusów krajowych. Po około 40 miesiącu eksploatacji efektywność jest porównywalna dla obu marek pojazdów. Dla dokładniejszej analizy sporządzono wykresy efektywności eksploatacyjnej z podziałem na okres ogra-

niczonoj (rysunek 7.9) i pełnej (rysunek 7.10) przydatności eksploatacyjnej. Dokładniejsza analiza potwierdzająca istotność różnic efektywności eksploatacyjnej dla obu marek pojazdów została przedstawiona w rozdziale 7.3.

Wyniki obliczeń efektywności eksploatacyjnej w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym przedstawiono na rysunku 7.11 a ich statystyki opisowe w tabeli 7.5. Wraz z upływem lat eksploatacji efektywność autobusów maleje. W pierwszym, trzecim i czwartym roku eksploatacji autobusy krajowe mają wyższy współczynnik efektywności, niż autobusy zagraniczne. W pierwszym roku eksploatacji efektywność eksploatacyjna autobusów krajowych jest wyższa o 291, przy współczynniku zmienności równym średnio 0,50 i odchyleniu standardowym równym średnio 501. W drugim roku eksploatacji, dla autobusów zagranicznych średnia efektywność eksploatacyjna jest wyższa o 226, przy współczynniku zmienności równym średnio 0,424 i odchyleniu standardowym równym średnio 264. W 5 i 6 roku eksploatacji efektywność eksploatacyjna dla obu marek autobusów różni się nieznacznie.

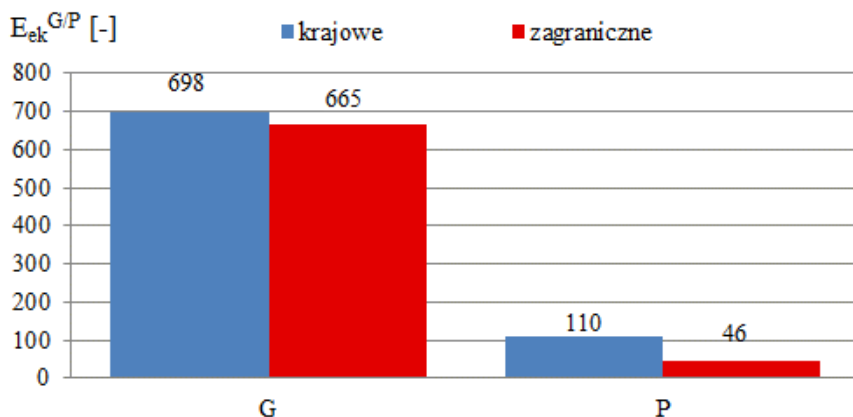


Rys. 7.11. Efektywność eksploatacyjna autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

Tab. 7.5. Statystyki opisowe efektywności eksploatacyjnej autobusów w funkcji czasu użytkowania w ujęciu rocznym

lata	Efektywność eksploatacyjna [-]									
	krajowe					zagraniczne				
	średnia E_{ek}^R	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia E_{ek}^R	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	997	501	0,502	200	1517	706	173	0,245	301	926
2	398	213	0,536	143	809	624	264	0,424	219	1066
3	318	177	0,557	110	737	99	84	0,846	15	231
4	71	98	1,384	14	383	29	8	0,267	17	48
5	27	8	0,292	14	44	32	9	0,289	21	55
6	24	8	0,323	16	39	26	13	0,517	11	58

Średnia efektywność eksploatacyjna w okresie gwarancyjnym, czyli do 24 miesiąca użytkowania jest wyższa o 33 pkt. dla autobusów krajowych i wynosi 698 zł przychodu uzyskanego po wydaniu 1 zł na naprawę jednego autobusu w okresie gwarancyjnym (rysunek 7.12 i tabela 7.6). W okresie pogwarancyjnym, czyli od 25 do 72 miesiąca eksploatacji różnica pomiędzy efektywnością eksploatacyjną autobusów krajowych jest wyższa ponad dwukrotnie niż autobusów zagranicznych, a różnica ta wynosi 63 pkt. (czyli, za każdą wydaną złotówkę na naprawę pojazdu w tym okresie uzyskano 110 zł przychodu dla autobusu krajowego i 46 zł dla autobusu zagranicznego). Odchylenie standardowe w przypadku podziału na autobusy krajowe i zagraniczne w analizowanym okresie pogwarancyjnym wynosi odpowiednio 158 i 52.

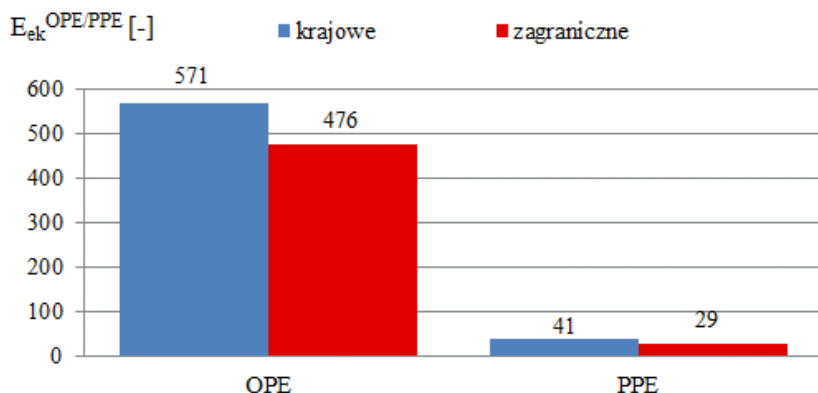


Rys. 7.12. Efektywność eksploatacyjna autobusów w funkcji czasu użytkowania w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Tab. 7.6. Statystyki opisowe efektywności eksploatacyjnej autobusów w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [81]

okres	marka	Efektywność eksploatacyjna [-]				
		średnia $E_{ek}^{G/P}$	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
G	krajowe	698	488	0,699	143	1517
P		110	158	1,439	14	737
G	zagraniczne	665	227	0,341	219	1066
P		46	52	1,128	11	231

Jak wynika z rysunku 7.13 efektywność eksploatacyjna autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej jest znacznie wyższa, niż w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej dla obu marek pojazdów. Wyniki obliczeń efektywności eksploatacyjnej autobusów w wyróżnionych przedziałach czasu użytkowania przedstawiono szczegółowo w tabeli 7.7.



Rys. 7.13. Efektywność eksploatacyjna autobusów w funkcji czasu użytkowania w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Tab. 7.7. Statystyki opisowe efektywności eksploatacyjnej autobusów w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [81]

okres	marka	Efektywność eksploatacyjna [-]				
		Średnia $E_{ek}^{OPE/PPE}$	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
OPE	krajowe	571	449	0,786	110	1517
PPE		41	61	1,498	14	383
OPE	zagraniczne	476	329	0,690	15	1066
PPE		29	11	0,369	11	58

Większą wartość efektywności można zauważyć dla autobusu krajowego i jest ona równa 571 zł przychodu, jaki uzyskano po wydaniu 1 zł na naprawę jednego autobusu. Dla pojazdów zagranicznych efektywność w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej wyniosła 476. Odchylenie standardowe równe odpowiednio 449 i 329 dla autobusów krajowych i zagranicznych oraz współczynnik zmienności równy 0,789 i 0,690 odpowiednio dla autobusów krajowych i zagranicznych, świadczą o średnim zróżnicowaniu tej średniej. W drugim rozpatrywanym okresie, dla autobusów krajowych efektywność była również wyższa niż dla autobusów zagranicznych i wyniosła 41, a dla autobusów zagranicznych 29, przy odchyleniu standardowym równym odpowiednio 61 i 11. Współczynnik zmienności w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej równy był 1,498 i 0,369 odpowiednio dla autobusów krajowych i zagranicznych.

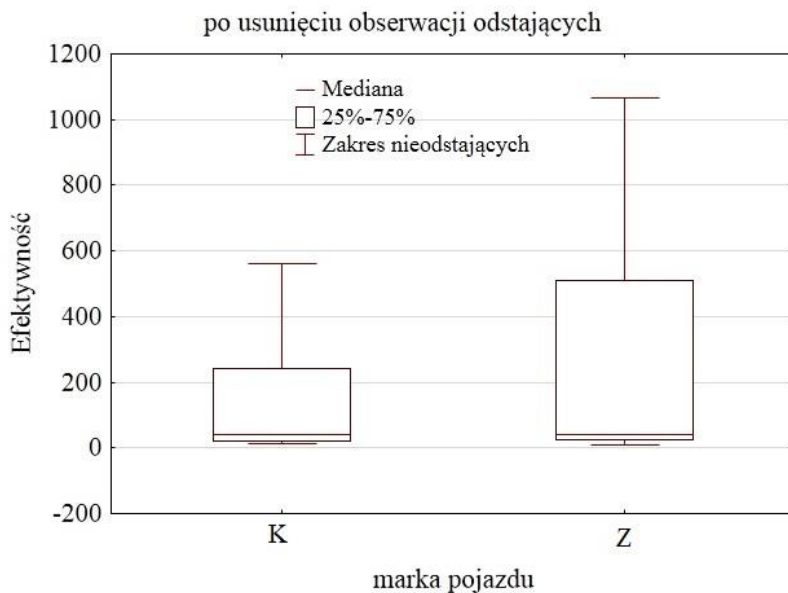
7.3. Analiza statystyczna efektywności eksploatacyjnej

W dalszej części pracy dokonano analizy wariancji ANOVA wykorzystując pakiet STATISTICA 10.0. Ocenę różnic efektywności eksploatacyjnej autobusów przeprowadzono stosując test jednoczynnikowej analizy wariancji w kilku okresach użytkowania pojazdów. W przeprowadzonym teście czynni-

kami klasyfikującymi była „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była średnia efektywność eksploatacyjna w ujęciu miesięcznym.

Przed przystąpieniem do analizy sprawdzono, czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy po usunięciu obserwacji odstających przedstawiono na rysunku 7.14.

W pierwszej kolejności analizę wariancji przeprowadzono dla czynnika „marka autobusu”, a zmienną zależną był średnia miesięczna efektywność eksploatacji w okresie 72 miesięcy użytkowania. Analizowane zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 7.15. W teście W Shapiro – Wilka otrzymano dla pojazdów marki zagranicznej i krajowej poziom istotności $p < \alpha = 0,05$. Zatem założenie o normalności rozkładu nie jest tu spełnione. Na tej podstawie zdecydowano się na zastosowanie nieparametrycznego testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa i testu mediany. Wyniki tych testów przedstawiono w tabeli 7.8 i 7.9.

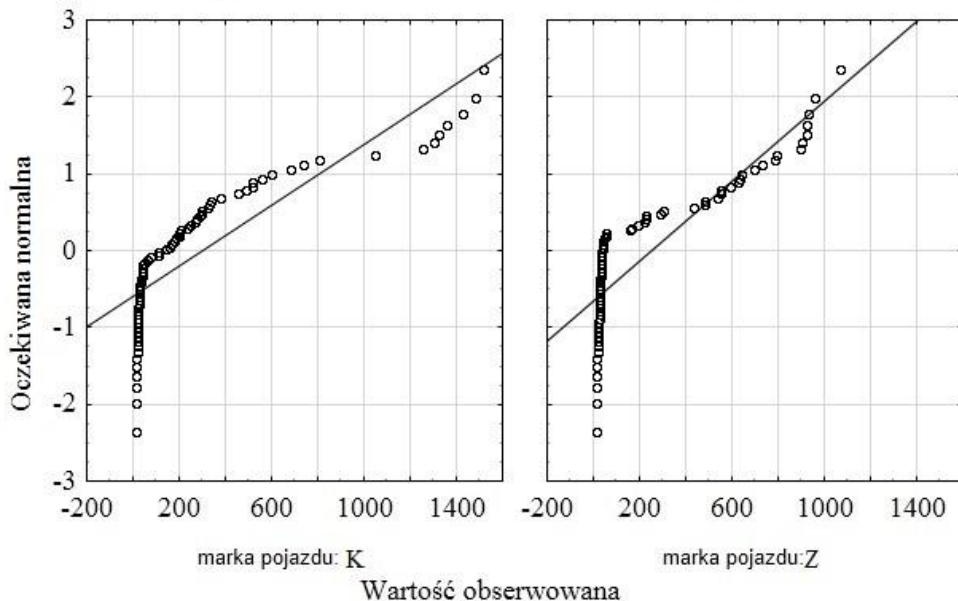


Rys. 7.14. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” (K – Krajowe, Z – Zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania po usunięciu obserwacji odstających

Skategoryzowane wykresy normalności

marka pojazdu: K Efektywność: SW-W = 0,7087; p = 0,0000

marka pojazdu: Z Efektywność: SW-W = 0,7313; p = 0,0000



Rys. 7.15. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” (K – Krajowe, Z – Zagraniczne) w okresie 72 miesięcy użytkowania

Tab. 7.8. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala–Wallisa: $H(I, N = 132) = 1,488910; p = 0,2224$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ran- ga
krajowe	101	60	3723,000	62,05000
zagraniczne	102	72	5055,000	70,20833

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa,
 p – poziom prawdopodobieństwa

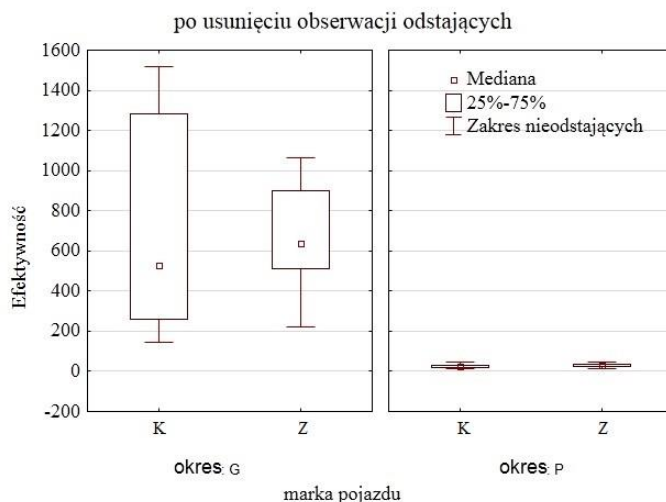
Dla testu Kruskala–Wallisa komputerowy poziom istotności wynosi 0,222 i jest większy niż 0,05 (tabela 7.8), zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem efektywności eksploatacji. Mediana efektywności eksploatacji w całym analizowanym okresie wynosi 40,22 pkt. dla obu marek pojazdów (tabela 7.9).

Tab. 7.9. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie 72 miesięcy użytkowania

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 40,2174; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 0,1222; df = 1; p = 0,7266		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	29,00000	37,00000	66,00000
oczekiwane	30,00000	36,00000	
obserwacje- oczekiwane	-1,00000	1,00000	
>mediany: obserwowane	31,00000	35,00000	66,00000
oczekiwane	30,00000	36,00000	
obserwacje- oczekiwane	1,00000	-1,00000	
razem: obserwowane	60,00000	72,00000	132,00000

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji z podziałem na okres gwarancyjny i pogwarancyjny. Czynnikiem klasyfikującym były „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była efektywność eksploatacyjna w danym okresie eksploatacji.

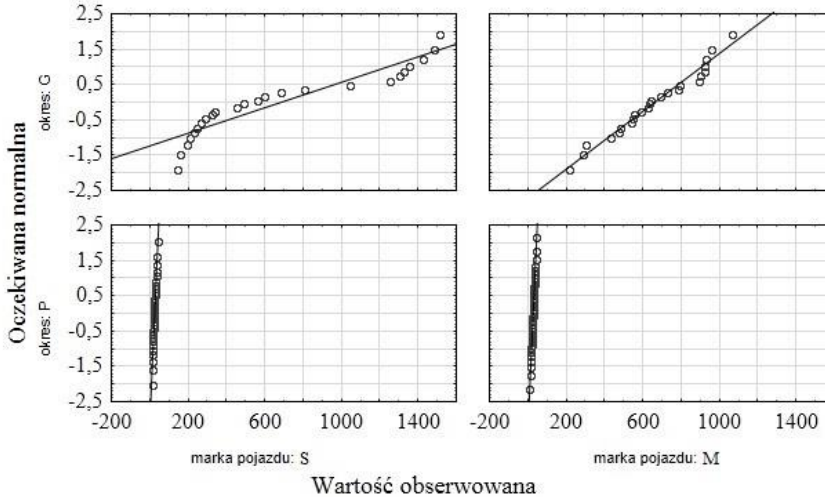
Sprawdzono czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączono je z dalszych obliczeń. Wykres ramka-wąsy po usunięciu obserwacji odstających w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym przedstawiono na rysunku 7.16.



Rys. 7.16. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” (K – Krajowe, Z – Zagraniczne) w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P)

Skategoryzowane wykresy normalności

marka pojazdu: S okres: G Efekt : SW-W = 0,8507; p = 0,0023
 marka pojazdu: S okres: P Efekt : SW-W = 0,9275; p = 0,0375
 marka pojazdu: M okres: G Efekt : SW-W = 0,9646; p = 0,5372
 marka pojazdu: M okres: P Efekt : SW-W = 0,9873; p = 0,9218



Rys. 7.17. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym (G) i pogwarancyjnym (P) [81]

Zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione zostały dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 7.17. W teście W Shapiro–Wilka poziomu istotności tylko w przypadku autobusów zagranicznych spełniał warunek, $p > \alpha = 0,05$, tym samym stwierdzono, że w tym przypadku nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o normalności rozkładów danych w rozpatrywanych zbiorach. Natomiast w przypadku analizy autobusów krajowych należy odrzucić hipotezę o normalności rozkładów.

Tab. 7.10. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym [81]

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; efektywność eksploatacji			
	Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 48) = 0,3099490; p = 0,5777$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
krajowe	101	24	561,0	23,375
zagraniczne	102	24	615,0	25,625

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 7.11. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie gwarancyjnym

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 613,513; efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 1,3333; df = 1; p = 0,2482		
	Krajowe	Zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	14,00000	10,00000	24,00000
oczekiwane	12,00000	12,00000	
obserwacje- oczekiwane	2,00000	-2,00000	
>mediany: obserwowane	10,00000	14,00000	24,00000
oczekiwane	12,00000	12,00000	
obserwacje- oczekiwane	-2,00000	2,00000	
razem: obserwowane	24,00000	24,00000	48,00000

Zastosowano zatem test Kruskala–Wallisa i test mediany w obu przedziałach użytkowania autobusów. W teście Kruskala–Wallisa komputerowy poziom istotności wynosi 0,5777 i jest większy niż 0,05, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem efektywności eksploatacji. Mediana efektywności eksploatacji w okresie gwarancyjnym wynosi 613,5 dla obu marek pojazdów.

Tab. 7.12. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym [81]

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 72) = 2,3746; p = 0,1233$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
krajowe	101	31	996,0	32,129
zagraniczne	102	41	1632,0	39,805

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, *I* – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki *H*, *H* – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, *p* – poziom prawdopodobieństwa

Następnie przeprowadzono analizę wariancji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym. Wyniki testów Kruskala–Wallisa i test mediany przedstawiono w tabeli 7.12 i 7.13. W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności wynosi 0,1233 i jest większy niż 0,05 (tabela 7.12). Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości wartości średnich. Inaczej natomiast można interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacji (tabela 7.13). Wartość testu mediany wynosi 25,73. Obliczone prawdopodobieństwo ($p = 0,0522$) pozwala

stwierdzić, że są ma podstawy do odrzucenia H_0 . Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że marka pojazdu wpływa istotnie (w sensie statystycznym) na średnią efektywność eksploatacji w okresie pogwarancyjnym.

Tab. 7.13. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pogwarancyjnym

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana= 25,7306 Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka pojazdu Chi kwadrat = 4,5885; df = 1; p = 0,0522		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	20,00000	16,00000	36,00000
oczekiwane	15,50000	20,50000	
obserwacje- oczekiwane	4,50000	-4,50000	
>mediany: obserwowane	11,00000	25,00000	36,00000
oczekiwane	15,50000	20,50000	
obserwacje- oczekiwane	-4,50000	4,50000	
razem: obserwowane	31,00000	41,00000	72,00000

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres gwarancyjny i pogwarancyjny. W przeprowadzonym teście zmienną zależną była efektywność eksploatacji dla dwóch analizowanych marek autobusów. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 7.17.

Tab. 7.14. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów krajowych

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny Test Kruskala-Wallisa: $H(I, N = 55) = 39,857; p = 0,000$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
G	101	31	496,0	16,0
P	102	24	1044,0	43,50

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności dla autobusów krajowych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 7.14). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacyjnej. Wartość testu mediany wynosi 38,58. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 7.15). Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić,

że okres użytkowania pojazdów wpływają istotnie (w sensie statystycznym) na średnią efektywność eksploatacji autobusów krajowych.

Tab. 7.15. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów krajowych

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana= 38,5875 Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): okres gwarancyjny i pogwarancyjny Chi kwadrat = 44,158; df =1; p = 0,0000		
	G	P	razem
<=mediany: obserwowane	28,0000	0,0000	28,000
oczekiwane	15,7818	12,2182	
obserwacje- oczekiwane	12,2182	-12,2182	
>mediany: obserwowane	3,0000	24,0000	27,000
oczekiwane	15,2182	11,7818	
obserwacje- oczekiwane	-12,2182	12,2182	
razem: obserwowane	31,0000	24,0000	55,000

Badając wpływ czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres gwarancyjny i pogwarancyjny dla autobusów zagranicznych zastosowano analizę wariancji ANOVA. Zmienne są mierzalne i niezależne, czyli spełnione są dwa pierwsze założenia analizy wariancji. Wyniki testu normalności potwierdzono zgodnie z rysunkiem 7.17. Tabela 7.16 i 7.17 przedstawia wartości prawdopodobieństw testów założeń jednorodności wariancji dla efektu klasyfikującego „okres eksploatacji”. Analizując otrzymane dane można zauważyć, iż dla dwóch testów normalności są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej, $p < 0,05$. Założenie jednorodności wariancji nie jest więc spełnione w tym przypadku. Zastosowany został zatem test Welcha.

Tab. 7.16. Wyniki testu Levene’a zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów zagranicznych (Z)

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Test Levene’a jednorodności wariancji Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$			
			MS Efekt	MS Błąd	F	p
Z	efektywność eksploatacji	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	510865,3	5792,6	88,19	0,000

Tab. 7.17. Wyniki testu Hartleya, Bartletta i Cochra na zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów zagranicznych (Z)

Marka pojazdu	Zmienna	Efekt	Testy jednorodności wariancji				
			Hartleya	Cochrana	Bartlett	df	p
Z	efektywność eksploatacji	okres gwarancyjny i pogwarancyjny	689,19	0,9986	194,68	1	0,000

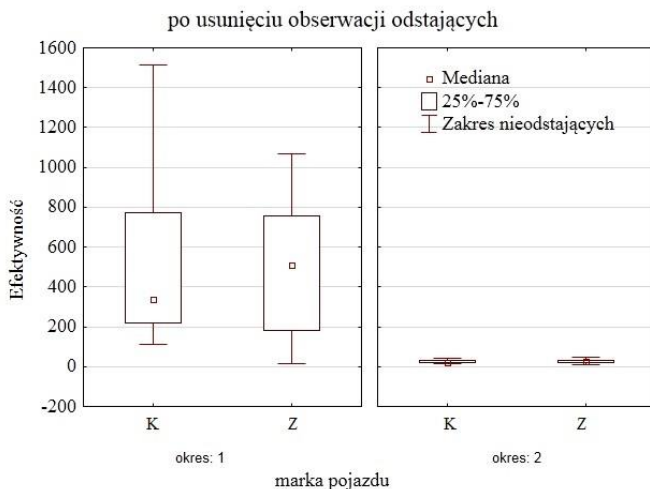
Tab. 7.18. Wyniki obliczeń jednoczynnikowej analizy Wariancji oraz testu Welcha zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” gwarancyjny (G) i pogwarancyjny (P) autobusów zagranicznych

Marka pojazdu	Jednowymiarowe testy istotności dla zmiennej zależnej: efektywność eksploatacji Parametryzacja z sigma-ograniczeniami Dekompozycja efektywnych hipotez Efekt: okres gwarancyjny i pogwarancyjny											
	SS efekt	df efekt	MS efekt	SS Błąd	Df Błąd	MS błąd	F	p	df Welch efekt	df Welch błąd	F Welcha	p Welcha
Zagraniczne	6120865	1	6120865	1369027	70	19557,53	312,97	0,000	1	24,21	166,37	0,000

W teście Welcha poziom istotności dla autobusów zagranicznych wynosi $p = 0,000$ (tabela 7.18). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie zinterpretowano wynik testu analizy wariancji, z którego wynika, że w rozpatrywanych okresach eksploatacji średnia efektywność eksploatacji różni się istotnie. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić hipotezę H_0 o równości średnich. Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie na średnią efektywność eksploatacji autobusów zagranicznych.

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji z podziałem na „okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej” i „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej”. W przeprowadzonym teście czynnikiem klasyfikującym była „marka pojazdu”, natomiast zmienną zależną (objaśnianą) była efektywność eksploatacyjna w danym okresie eksploatacji. Sprawdzone czy istnieją obserwacje odstające w poszczególnych okresach użytkowania pojazdów i wyłączone je z dalszych obliczeń. Wykres ramka wąsy po usunięciu ob-

serwacji odstających w okresie niestabilizowanych i ustabilizowanych własności eksploatacyjnych przedstawiono na rysunku 7.18.



Rys. 7.18. Wykres ramka-wąsy zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” (K – Krajowe, Z – Zagraniczne) w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) po usunięciu obserwacji odstających

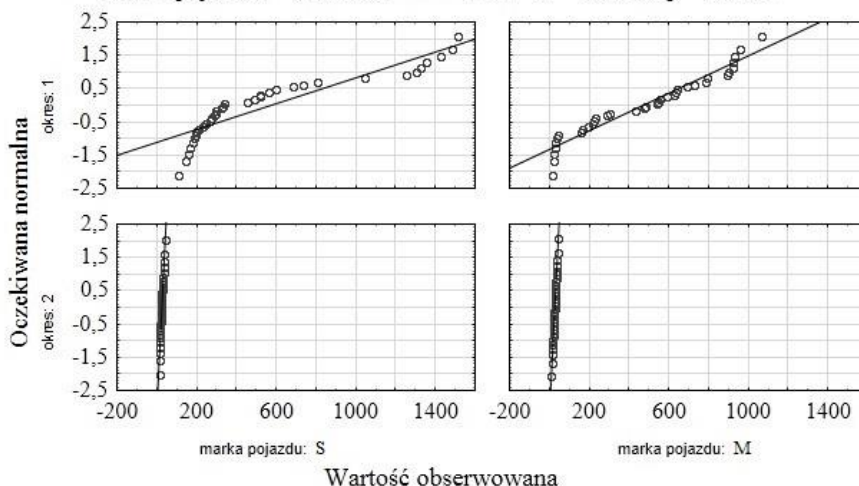
Skategoryzowane wykresy normalności

marka pojazdu: S, okres: 1 Efekt : SW-W = 0,8138; p = 0,00003

marka pojazdu: S, okres: 2 Efekt : SW-W = 0,9275; p = 0,0375

marka pojazdu: M, okres: 1 Efekt : SW-W = 0,925; p = 0,0177

marka pojazdu: M, okres: 2 Efekt : SW-W = 0,9892; p = 0,9785



Rys. 7.19. Skategoryzowane wykresy normalności zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (1) oraz pełnej przydatności eksploatacyjnej (2) [81]

Tab. 7.19. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) [81]

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 72) = 0,3171; p = 0,5734$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
zagraniczne	101	36	1364,000	37,88889
krajowe	102	36	1264,000	35,11111
<i>N</i> – liczba wszystkich ważnych obserwacji, <i>I</i> – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki <i>H</i> , <i>H</i> – wartość statystyki testu Kruskala–Wallisa, <i>p</i> – poziom prawdopodobieństwa				

Tab. 7.20. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana= 468,70 Efektywność eksploatacyjna Zmienna niezależna (grupująca): marka Chi kwadrat = 0,8889; df = 1; p = 0,3458		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	20,00000	16,00000	36,00000
oczekiwane	18,00000	18,00000	
obserwacje- oczekiwane	2,00000	-2,00000	
>mediany: obserwowane	16,00000	20,00000	36,00000
oczekiwane	18,00000	18,00000	
obserwacje- oczekiwane	-2,00000	2,00000	
razem: obserwowane	36,00000	36,00000	72,00000

Tab. 7.21. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [81]

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 65) = 1,589; p = 0,2074$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
zagraniczne	101	31	927,0	29,903
krajowe	102	34	1218,0	35,824
<i>N</i> – liczba wszystkich ważnych obserwacji, <i>I</i> – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki <i>H</i> , <i>H</i> – wartość statystyki testu Kruskala–Wallisa, <i>p</i> – poziom prawdopodobieństwa				

Tab. 7.22. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana = 25,50 Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): marka Chi kwadrat = 2,6247; df=1; p = 0,105		
	krajowe	zagraniczne	razem
<=mediany: obserwowane	19,00000	14,00000	33,00000
oczekiwane	15,73846	17,26154	
obserwacje- oczekiwane	3,26154	-3,26154	
>mediany: obserwowane	12,00000	20,00000	32,00000
oczekiwane	15,26154	16,73846	
obserwacje- oczekiwane	-3,26154	3,26154	
razem: obserwowane	31,00000	34,00000	65,00000

Założenia niezależność zmiennych oraz mierzalność zostały spełnione. Normalność rozkładu zmiennych sprawdzono, tworząc skategoryzowane wykresy normalności dla każdej z marek pojazdu i przedstawiono na rysunku 7.19. W teście W. Shapiro–Wilka poziom istotności we wszystkich trzech przypadkach jest mniejszy od założonego, $p < \alpha = 0,05$ (oprócz autobusów zagranicznych w okresie PPE). Zatem należy odrzucić hipotezę zerową o jednorodności wariancji. Zastosowano wobec tego, nieparametryczny test Kruskala–Wallisa i test mediany. Wyniki tych testów dla okresu ograniczonej przydatności eksploatacyjnej przedstawiono w tabeli 7.19 i 7.20. W okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej poziom istotności p jest większy dla obu marek pojazdów $p > \alpha = 0,05$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że marki pojazdów nie różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacyjnej. Wartość testu mediany wynosi 468,702. Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej nie wpływa istotnie na średnią efektywność eksploatacji autobusów obu marek.

Następnie przeprowadzono analizę wariancji dla czynnika „marka pojazdu” w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej. Wyniki testów Kruskala–Wallisa i test mediany przedstawiono w tabeli 7.21 i 7.22. W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności wynosi 0,2074 i jest większy niż 0,05 (tabela 7.21). Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości wartości średnich.

Podobnie należy interpretować test mediany, z którego wynika, że autobusy nie różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacji (tabela 7.22). Wartość testu mediany wynosi 25,50. Obliczone prawdopodobieństwo ($p = 0,105$) pozwala stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że marka pojazdu nie wpływa istotnie

(w sensie statystycznym) na średnią efektywność eksploatacji w okresie ustabilizowanych własności eksploatacyjnych.

Kolejny etap analizy wariancji przeprowadzono dla czynnika „okres eksploatacji”, jakim był okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej i pełnej przydatności eksploatacyjnej. W przeprowadzonym teście zmienną zależną była efektywność eksploatacji dla dwóch analizowanych marek autobusów. Wyniki testu normalności przedstawiono na rysunku 7.19.

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności dla autobusów krajowych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 7.23). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich.

Tab. 7.23. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów krajowych [81]

ANOVA rang Kruskala-Wallisa; efektywność eksploatacji				
Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE				
Test Kruskala-Wallisa: $H(I, N = 67) = 49,235; p = 0,000$				
Zależna: pozycja	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
OPE	1	36	1782,000	49,50000
PPE	2	31	496,000	16,00000

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, 1 – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki
H, H – wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 7.24. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów krajowych

Test mediany, ogólna mediana= 160,51;			
Efektywność eksploatacji			
Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE			
Chi kwadrat = 55,998 df = 1; p = 0,000			
Zależna: pozycja	OPE	PPE	razem
<=mediany: obserwowowane	3,0000	31,0000	34,00000
oczekiwane	18,2687	15,7313	
obserwacje- oczekiwane	-15,2687	15,2687	
>mediany: obserwowowane	33,0000	0,0000	33,00000
oczekiwane	17,7313	15,2687	
obserwacje- oczekiwane	15,2687	-15,2687	
razem: obserwowane	36,0000	31,0000	67,00000

Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacyjnej. Wartość testu mediany wynosi 160,51. Obliczone prawdopodobieństwo

($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 7.24). Wyniki analizy pozwalają zatem stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie (w sensie statystycznym) na średnią efektywność eksploatacji autobusów krajowych.

Tab. 7.25. Wyniki testu ANOVA rang Kruskala–Wallisa zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów zagranicznych [81]

Zależna: pozycja	ANOVA rang Kruskala-Wallisa; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE Test Kruskala-Wallisa: $H(1, N = 70) = 36,766; p = 0,000$			
	kod	N ważnych	suma rang	średnia ranga
OPE	1	36	1794,000	49,83333
PPE	2	34	691,000	20,32353

N – liczba wszystkich ważnych obserwacji, I – liczba stopni swobody asymptotycznego rozkładu χ^2 statystyki H , H – wartość statystyki testu Kruskala–Wallisa, p – poziom prawdopodobieństwa

Tab. 7.26. Wyniki testu mediany zmiennej zależnej – efektywność eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) autobusów zagranicznych

Zależna: pozycja	Test mediany, ogólna mediana= 36,695; Efektywność eksploatacji Zmienna niezależna (grupująca): OPE i PPE Chi kwadrat = 38,66; df = 1; p = 0,000		
	OPE	PPE	razem
<=mediany: obserwowane	5,0000	30,0000	35,00000
oczekiwane	18,0000	17,0000	
obserwacje- oczekiwane	-13,0000	13,0000	
>mediany: obserwowane	31,0000	4,0000	35,00000
oczekiwane	18,0000	17,0000	
obserwacje- oczekiwane	13,0000	-13,0000	
razem: obserwowane	36,0000	34,0000	70,00000

W teście Kruskala–Wallisa poziom istotności dla autobusów zagranicznych wynosi 0,000 i jest mniejszy niż 0,05 (tabela 7.25). Zatem odrzucono hipotezę zerową o równości wartości średnich. Podobnie można interpretować test mediany, z którego wynika, że okresy eksploatacji różnią się pod względem średniej efektywności eksploatacyjnej. Wartość testu mediany wynosi 36,695. Obliczone prawdopodobieństwo ($p < 0,000$) pozwala stwierdzić, że należy odrzucić H_0 o równości średnich (tabela 7.26). Wyniki analizy pozwalają zatem

stwierdzić, że okres użytkowania pojazdów wpływa istotnie na średnią efektywność eksploatacji autobusów zagranicznych.

7.4. Podsumowanie analizy efektywności

Analiza efektywności eksploatacyjnej w funkcji czasu użytkowania w przypadku autobusów krajowych i zagranicznych wykazuje, że efektywność ta maleje wraz ze wzrostem czasu eksploatacji (wiekiem pojazdu). W pierwszych trzech latach eksploatacji efektywność obu marek pojazdów jest znacznie wyższa, niż w kolejnych latach użytkowania (rysunek 7.11). Związane jest to z bardzo niskimi kosztami napraw.

Podsumowując wyniki analizy wariancji, zbadano wpływ czynników: „marka pojazdu” i „okres eksploatacji” na średnią efektywność eksploatacyjną autobusów. Badając wpływ czynnika „marka pojazdu” w całym okresie użytkowania, czyli 72 miesiące poziom istotności p dla obu marek pojazdów jest większy od założonego i według testu rang K-W wynosi $p = 0,222$, a testu mediany wynosi $p = 0,727$ (tabela 7.8 i 7.9). Oznacza to brak istotnej różnicy w średniej efektywności w całościowo rozpatrywanym okresie eksploatacji pomiędzy dwiema analizowanymi markami krajową i zagraniczną.

Następnie zbadano wpływ czynnika „marka pojazdu” w poszczególnych, przyjętych w niniejszej pracy kategoriach okresów użytkowania (tabela 7.27). W okresie gwarancyjnym stwierdzono, że analizowane marki autobusów pod względem średniej efektywności nie różnią się istotnie między sobą (według testu rang K-W $p = 0,578$, a testu mediany $p = 0,248$; tabele 7.10 i 7.11) i w okresie pogwarancyjnym (według testu rang K-W $p = 0,123$, a według testu mediany $p = 0,032$; tabele 7.12 i 7.13).

Tab. 7.27. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średniej miesięcznej efektywności eksploatacyjnej dla czynnika „marka pojazdu”

Okres eksploatacji	Krajowe/ Zagraniczne	Rodzaj testu
72 miesiące użytkowania	–	test Kruskala–Wallisa i test mediany
gwarancyjny (G)	–	test Kruskala–Wallisa i test mediany
pogwarancyjny (P)	+	test Kruskala–Wallisa i test mediany
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE)	–	test Kruskala–Wallisa i test mediany
pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	–	test Kruskala–Wallisa i test mediany
+ różnią się istotnie; – nie różnią się istotnie		

Tab. 7.28. Zestawienie wyników analizy wariancji w zakresie porównania średniej miesięcznej efektywności eksploatacji dla czynnika „okres eksploatacji” autobusów krajowych i zagranicznych

Okres eksploatacji	Marka pojazdu		Rodzaj testu
	krajowe	zagraniczne	
gwarancyjny (G) / pogwarancyjny (P)	+	+	test Kruskala-Wallisa i test mediany/ test Welcha
ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (OPE) / pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE)	+	+	test Kruskala-Wallisa i test mediany
+ różnią się istotnie; - nie różnią się istotnie			

W okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (według testu rang K-W $p = 0,573$, a według testu mediany $p = 0,346$; tabele 7.19 i 7.20) i pełnej przydatności eksploatacyjnej (według testu rang K-W $p = 0,207$, a testu mediany $p = 0,105$; tabele 7.21 i 7.22) średnia efektywność eksploatacyjna analizowanych marek autobusów nie różni się istotnie między sobą.

Badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” (tabela 7.28) zauważono, że w przypadku zarówno autobusów krajowych, jak i zagranicznych w danych okresach użytkowania średnia efektywność różni się istotnie. Obliczone prawdopodobieństwa we wszystkich czterech przypadkach ($p < 0,000$) pozwalają stwierdzić, że należy odrzucić hipotezę H_0 o równości średnich.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie opisanych w niniejszej pracy studiów literatury i badań empirycznych, obejmujących obserwacje procesu eksploatacji dwóch statystycznych prób autobusów w okresie 6 lat można stwierdzić, że opracowano i zweryfikowano nowy model oceny efektywności eksploatacyjnej autobusów. Autorska ocena efektywności wyróżnia się tym, że jest bezpośrednio związana z charakterystykami niezawodności eksploatacyjnej, obejmując tym samym kryteria techniczne obok kryteriów ekonomicznych.

Uzyskane w niniejszej pracy wyniki analizy niezawodności autobusów i ich poszczególnych części oraz wyniki analizy kosztów napraw umożliwiają dokonanie porównania przydatności eksploatacyjnej badanych marek autobusów. Potwierdzono również tezę, że warunkiem wiarygodnego porównania jest uwzględnienie dostatecznie długiego okresu użytkowania autobusów, obejmującego pełną stabilizację ich własności eksploatacyjnych.

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań doświadczalnych można sformułować następujące wnioski szczegółowe dotyczące efektywności eksploatacyjnej badanych autobusów:

1. Analiza efektywności eksploatacyjnej w funkcji czasu użytkowania wskazuje, że efektywność ta maleje wraz ze wzrostem czasu, zarówno w przypadku autobusów marki krajowej, jak i autobusów marki zagranicznej.

2. Oceniając wpływ czynnika „marka pojazdu”, rozdzielnie w okresie gwarancyjnym (2 lata) i pogwarancyjnym (powyżej 2 lat) stwierdzono, że w okresie gwarancyjnym analizowane marki autobusów nie różnią się istotnie pod względem średniej efektywności eksploatacji, natomiast w okresie pogwarancyjnym, różnica ta jest istotna.

3. Oceniając wpływ czynnika „marka pojazdu”, rozdzielnie w okresie ograniczonej przydatności eksploatacyjnej (3 lata) i okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej (powyżej 3 lat) stwierdzono, że w obu okresach eksploatacji analizowane marki autobusów nie różnią się istotnie pod względem średniej efektywności eksploatacyjnej. Zatem wprowadzenie podziału czasu użytkowania na „okres ograniczonej przydatności eksploatacyjnej” i „okres pełnej przydatności eksploatacyjnej” jest uzasadnione, ponieważ umożliwia to dokładniejszą ocenę efektywności autobusów w kontekście perspektywicznej eksploatacji.

4. Badania wykazały, że średnia gotowość techniczna obu marek pojazdów różni się istotnie. W całym rozpatrywanym okresie eksploatacji autobusy krajowe uzyskały średnią gotowość na poziomie równym 0,870, natomiast średnia gotowość autobusów zagranicznych wyniosła 0,905. Relatywnie niższy współczynnik gotowości technicznej autobusów krajowych wynika głównie z konieczności częstych napraw bieżących. Dodatkowo należy zauważyć, że na współczynnik gotowości autobusów zagranicznych miała wpływ nietermino-

wość zaopatrzenia w części zamienne, a przy tym dłuższy jest czas oczekiwania na te części.

5. Badania analizy wariancji wykazały, że średni koszt naprawy obu marek pojazdów nie różni się istotnie. W całym rozpatrywanym okresie eksploatacji autobusy krajowe uzyskały średni miesięczny koszt naprawy na poziomie równym 659 zł/ 1 autobus, natomiast dla autobusów zagranicznych wyniósł on 865 zł/ 1 autobus. Badając wpływ czynnika „okres eksploatacji” w poszczególnych okresach użytkowania, zarówno w przypadku autobusów krajowych, jak i zagranicznych średnie koszty napraw różnią się istotnie między sobą.

6. Badania wykazały, że przebieg między uszkodzeniami autobusów krajowych jest mniejszy niż autobusów zagranicznych. Średnia wartość przebiegu między uszkodzeniami wyniosła 1787 km dla autobusów krajowych, natomiast dla autobusów zagranicznych wyniosła 2786 km.

7. Stwierdzono, że niezawodność poszczególnych układów konstrukcyjnych jest różna w zależności od marki autobusu. W przypadku obu marek największą wartością wskaźnika częstości uszkodzeń wykazały się układ elektryczny i układ oświetlenia oraz uszkodzenia spowodowane kolizjami drogowymi. Natomiast mniejszą częstość uszkodzeń stwierdzono w przypadku układów zawieszenia oraz ogrzewania i klimatyzacji. Przy $R^*(t)=0,5$ przebieg między uszkodzeniami dla autobusów zagranicznych wyniósł dla układu ogrzewania i klimatyzacji oraz układu zawieszenia około 82 tys. km, natomiast dla układu elektrycznego 11 tys. km i układu oświetlenia 7 tys. km, a dla układu pneumatycznego i układu przeniesienia napędu powyżej 29 tys. km.

Dotychczasowe wyniki pracy upoważniają do zaproponowania kierunków dalszych badań:

➤ Obserwacja uszkodzeń i kosztów napraw autobusów w dłuższym okresie użytkowania, aż do wycofania ich z eksploatacji. Celem tego jest pełna weryfikacja charakterystyki zmian efektywności eksploatacyjnej w funkcji wieku pojazdów.

➤ Analiza dokładności oszacowania efektywności eksploatacyjnej autobusów.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Aksezer, C.S.: Failure analysis and warranty modeling of used cars. *Engineering Failure Analysis*. 18, 1520–1526 (2011).
2. Apeland, S. et al.: Quantifying uncertainty under a predictive, epistemic approach to risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 75, 93–102 (2002).
3. Attardi, L. et al.: A mixed-Weibull regression model for the analysis of automotive warranty data. *Reliability Engineering and System Safety*. 87, 265–273 (2005).
4. Bąk, M.: Koszty i opłaty w transporcie. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk (2009).
5. Bąkowski, W.: Procesowe podejście do ustalania granicy opłacalności eksploatacji taboru w transporcie lądowym. *Przegląd komunikacyjny*. 5, 31–38 (2006).
6. Barone, G., Frangopol, D.M.: Reliability, risk and life time distributions as performance indicators for life-cycle maintenance of deteriorating structures. *Reliability Engineering and System Safety*. 123, 21–37 (2014).
7. Będkowski, L.: Elementy diagnostyki technicznej. WAT, Warszawa (1992).
8. Bentkowska-Senator, K. et al.: Koszty w transporcie samochodowym. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa (2011).
9. Bobrowski, D.: Modele i metody matematyczne teorii niezawodności. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa (1985).
10. Borowiecki, R. et al.: Eksploatacja taboru szynowego komunikacji miejskiej. Niezawodność, jakość, ekonomika. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków (2004).
11. Boyer, K.K., Pagell, M.: Measurement issues in empirical research: improving measures of operations strategy and advanced manufacturing technology. *Journal of Operations Management*. 18, 361–374 (2000).
12. Buzka, M.: Portal Lubelskiej Komunikacji Miejskiej, <http://lubelskakomunikacja.cba.pl/news.php>, last accessed 2015/11/02.
13. Carrasco, N.: Quantifying public transport reliability in Zurich. Presented at the 11th Swiss Transport Research Conference, Zurich (2011).
14. Chen, X. et al.: An integrated model of production scheduling and maintenance planning under imperfect preventive maintenance. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 17, 1, 70–79 (2015).
15. Chen, X. et al.: Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels. *Transportation Research Part A*. 43, 722–734 (2009).
16. Chojnacki, A.B., Markow, J.: Analiza kosztów przewozowych w transporcie samochodowym. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport*. 70, (2009).
17. Chybowski, L.: Auxiliary installations' fault tree model for operation analysis of vessel's plant unit. *Baltiechmasz - 2002, KGTU, Kaliningrad*. 299–301 (2002).
18. Chybowski, L., Matuszak, Z.: Estimation of unavailability of main power plants fuel supply system installed onboard seabed exploring offshore vessel. *Journal of Explosive Diesel & Gas Turbine 05, IV International Scientifically-Technical Conference*. 65–71 (2005).
19. Daraio, C. et al.: Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: A critical review with directions for future research. *European Journal of Operational Research*. 248, 1–20 (2016).

20. Dobosz, M.: Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań. Akademska Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa (2001).
21. Domański, C.: Statystyczne testy nieparametryczne. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa (1979).
22. Evens, W.J., Grant, G.R.: Statistical method in bioinformatics. An introduction. Springer – Verlag, New York (2001).
23. Gierszewska, G., Romanowska, M.: Analiza strategiczna przedsiębiorstwa. PWE, Warszawa (2003).
24. Gołabek, A.: Niezawodność autobusów. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (1993).
25. Gong, Z.: Estimation of mixed Weibull distribution parameters using the SCEM-UA algorithm: Application and comparison with MLE in automotive reliability analysis. Reliability Engineering and System Safety. 91, 915–922 (2006).
26. Grabski, F., Jaźwiński, J.: Funkcje o losowych argumentach w zagadnieniach niezawodności, bezpieczeństwa i logistyki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa (2009).
27. Grzelec, K.: Funkcjonowanie transportu miejskiego w warunkach konkurencji regulowanej. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
28. He, L. et al.: Reliability and Risk Assessment of Aircraft Electric Systems. Reliability Engineering & System Safety. 16, 4, 497–506 (2014).
29. Hebda, M.: Eksploatacja samochodów. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Radom (2005).
30. Hebda, M., Janicki, D.: Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa (1977).
31. Hebda, M., Mazur, T.: Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa (1984).
32. Ignaciuk, P. et al.: Effectiveness of the failure rate on maintenance costs of the city buses. Journal of KONBiN. 3, 35, 99–108 (2015). <https://doi.org/DOI 10.1515/jok-2015-043>.
33. Ignaciuk, P. et al.: Wpływ częstości uszkodzeń na koszty utrzymania autobusów komunikacji miejskiej. Materiały konferencyjne Zimowej Szkoły Niezawodności. 55–56 (2015).
34. Jarnicki, J. et al.: Gotowość funkcjonalna w systemach transportu dyskretnego. Materiały Szkoły Niezawodności Polska Akademia Nauk. 128–138 (2008).
35. Jarosz, A.: Lublin, schemat komunikacji miejskiej, <http://www.mpk.lublin.pl/>, (2009).
36. Jazi, M.A. et al.: A discrete inverse Weibull distribution and estimation of its parameters. Statistical Methodology. 7, 121–132 (2010).
37. Jaźwiński, J. et al.: Związki między nieuszkodzalnością i skutecznością systemów transportowych. Presented at the XXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk (2005).
38. Jaźwiński, J., Grabski, F.: Niektóre problemy modelowania systemów transportowych. Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu, Warszawa-Radom (2003).
39. Jiang, R.: Discrete competing risk model with application to modeling bus-motor failure data. Reliability Engineering and System Safety. 95, 981–988 (2010).
40. Józwiak, J., Podgórski, S.: Statystyka od podstaw. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa (2006).

41. Kaplan, E.L., Meier, P.: Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*. Volume 53, Issue 282, 457–481 (1958). <https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>.
42. Kathuria, A. et al.: A Review of Service Reliability Measures for Public Transportation Systems. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*. 2, 18, 243–255 (2020).
43. Kelly, A.: Maintenance organization and systems – Business-centered maintenance. Butterworth Heinemann, Oxford (1997).
44. Klein, J.P., Moeschberger, M.L.: Survival analysis: techniques for censored and truncated data. Springer, New York (2005).
45. Klonecki, W.: Statystyka dla inżynierów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław (1999).
46. Knezevic, J.: Systems maintainability: Analysis, engineering and management. Kluwer, Dordrecht (1997).
47. Koronacki, J., Mielniczuk, J.: Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa (2001).
48. Koźlak, A.: *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk (2007).
49. Kubalski, J. et al.: *Komunikacja autobusowa, ekonomika i eksploatacja*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa (1984).
50. Landowski, B., Chabowski, Ł.: Analiza wybranych charakterystyk uszkodzeń środków transportu. *POLSKIE STOWARZYSZENIE ZARZĄDZANIA WIEDZĄ* Seria: *Studia i Materiały*,. 46, 209–222 (2011).
51. Legutko, S.: *Eksploatacja maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań (2007).
52. Legutko, S.: *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa (2004).
53. Lewitowicz, J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa (2006).
54. Maciej Woropay et al.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu wykonawczego w systemie transportowym. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom (2013).
55. *Materiały MPK Lublin: Zintegrowany plan rozwoju transportu publicznego w Lublinie w latach 2005-2013*. MOK, Lublin (2005).
56. Matuszak, Z.: Particular reliability characteristics of two element parallel technical (mechatronic) systems. *Management Systems in Production Engineering*. 3(7), 3–8 (2012).
57. Matuszak, Z.: Problemy badania niezawodności siłowni transportowych obiektów oceanotechnicznych. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, (2010).
58. Michalski, J.: БЕЗПЕКА АВТОБУСІВ ТА ІНШИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ВИБРАНИХ СИСТЕМ. *Вісник Національного транспортного університету*. 30, 1, 265–276 (2014).
59. Migdalski, J. ed: *Inżynieria niezawodności*. Poradnik. ATR & ZETOM, Warszawa (1992).
60. Misra, K.B.: *Handbook of preformability engineering*. Springer Verlag, London (2008).
61. Misra, K.B. ed: *Handbook of Reliability Engineering*. Springer Verlag, London (2008).
62. Mitkova, S., Korczyńska, J.: Koszty transportu na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa przewozowego. *Systemy Logistyczne Wojsk*. 39, 221–239 (2013).
63. Młyńczak, M.: *Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów technicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (2012).

64. Młyńczak, M.: Symulacyjne badania niezawodności na przykładzie autobusu miejskiego Jelcz PR110U. Politechnika Wroclawska (1980).
65. Nelson, J.D., Mulley, C.: The impact of the application of new technology on public transport service provision and the passenger experience: A focus on implementation in Australia. *Research in Transportation Economics*. 39, 300–308 (2013).
66. Niewczas, A. et al.: Porównawcza analiza niezawodności autobusów komunikacji miejskiej. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport*. 101, 91–101 (2014).
67. Niewczas, A. et al.: Wybrane problemy rozwoju komunikacji miejskiej na przykładzie miasta Lublin. *Zeszyty Naukowe WSEI*. 1, 73–78 (2011).
68. Niziński, S., Michalski, R.: *Utrzymanie pojazdów i maszyn*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom (2007).
69. Niziński, S., Żółtowski, B.: *Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych*. Wydawnictwo MARKAR, Olsztyn - Bydgoszcz (2001).
70. Oh, Y.S., Bai, D.S.: Field data analyses with additional after-warranty failure data. *Reliability Engineering and System Safety*. 72, 1–8 (2001).
71. Peszel, A.: Koncepcja analizy ekonomicznej ruchu kolejowego na liniach i odcinkach przeznaczonych do zawieszenia lub likwidacji. *Problemy ekonomiki transportu*. 1, 109, 31–40 (2000).
72. Piasecki, S.: *Zagadnienia użytkowania maszyn i środków transportowych*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin (1995).
73. Rabiej, M.: *Statystyka z programem Statistica*. Helion, Gliwice (2012).
74. Rai, B., Singh, N.: A modeling framework for assessing the impact of new time/mileage warranty limits on the number and cost of automotive warranty claims. *Reliability Engineering and System Safety*. 88, 157–169 (2005).
75. Rozkwitalska, C.: *Metody społeczno - ekonomicznej oceny efektywności inwestycji komunikacji miejskiej*. Instytut Kształtowania środowiska, Warszawa (1982).
76. Russell, R., Taylor, B.W.I.: *Operations Management - 5 th Ed*. John Wiley & Sons, Inc., University of Tennessee at Chattanooga (2006).
77. Rymarz, J. et al.: Analiza gotowości autobusów miejskich w wybranych okresach użytkowania. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 226, 12, 22–26 (2018).
78. Rymarz, J. et al.: Comparison of operational availability of public city buses by analysis of variance. 18, 3, 373–378 (2016).
79. Rymarz, J. et al.: Ocena niezawodności autobusów komunikacji miejskiej w warunkach rzeczywistych. *Materiały konferencyjne Zimowej Szkoły Niezawodności*. 355–366 (2014).
80. Rymarz, J. et al.: Reliability analysis of the selected brands of city buses at municipal transport company. *Journal of Konbin*. 26, 1, 111–122 (2013). <https://doi.org/10.2478/jok-2013-0087>.
81. Rymarz, J. et al.: Stages of operating vehicles with respect to operational efficiency using city buses as an example. *Eksploatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability*. 21, 1, 21–27 (2019).
82. Rymarz, J. et al.: Wybrane problemy efektywności funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego. *Logistyka*. 3, 5542–5548 (2014).
83. Rymarz, J., Niewczas, A.: Ocena niezawodności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej. *Problemy eksploatacji. Maintenance problems*. 1, 79–85 (2012).

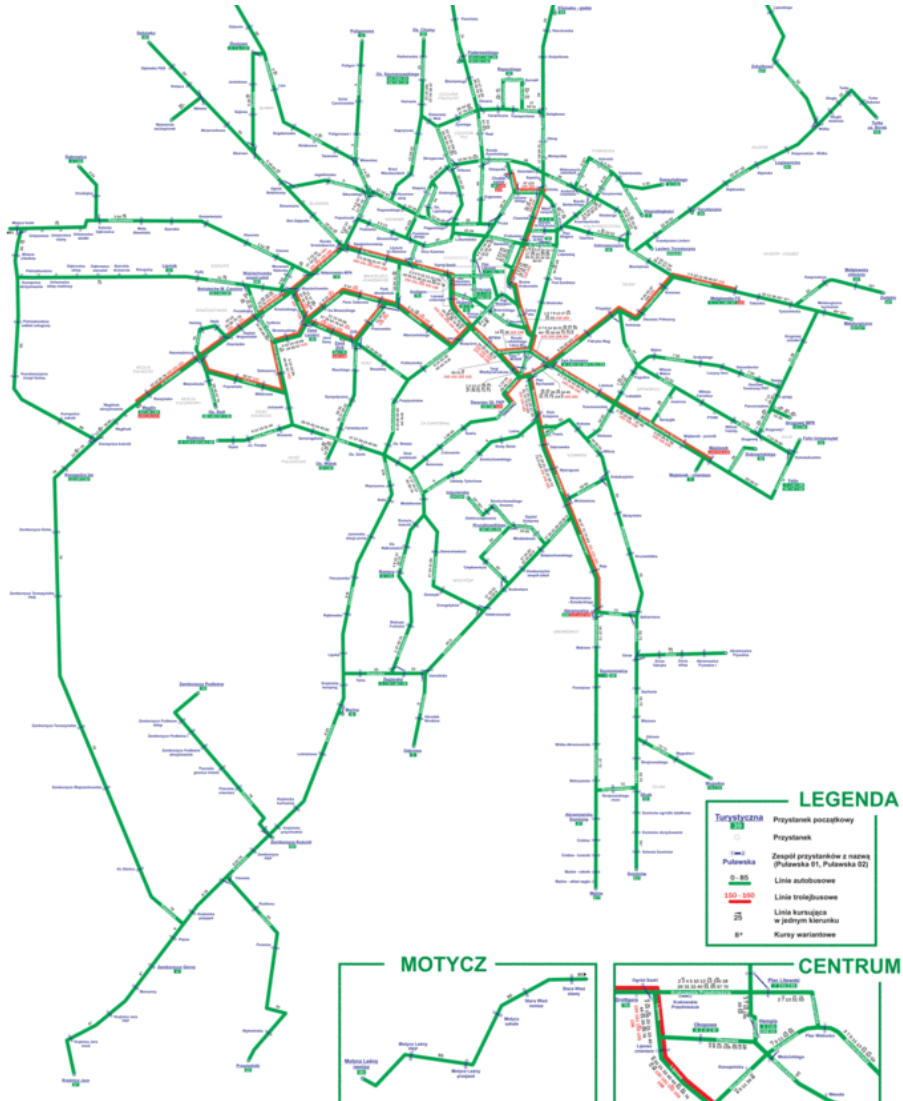
84. Rymarz, J., Niewczas, A.: Reliability analysis of city buses at municipal transport company, (2018).
85. Samson, S. et al.: A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. *Reliability Engineering and System Safety*. 94, 558–567 (2009).
86. Satten, G.A., Datta, S.: Kaplan-Meier representation of competing risk estimates. *Statistics & Probability Letters*. 42, 299–304 (1999).
87. Selech, J., Kurczewski, P.: Life Cycle Costing (LCC) jako nowoczesny model zarządzania kosztami cyklu życia na przykładzie obiektów technicznych. *Problemy eksploatacji. Maintenance problems*. 1, 84, (2012).
88. Seo, S.-K., Yum, B.-J.: A failure-censored life test procedure for exponential distribution. *Reliability Engineering and System Safety*. 41, 245–249 (1993).
89. Shariat-Mohaymany, A., Babaei, M.: An approximate reliability evaluation method for improving transportation network performance. *Transport*. 25(2), 193–202 (2010). <https://doi.org/10.3846/transport.2010.24>.
90. Skrzypek, E.: Jakość i efektywność. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin (2000).
91. Song, S. et al.: Reliability for systems of degrading components with distinct component shock sets. *Reliability Engineering and System Safety*. 132, 115–124 (2014).
92. Stanisław, A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków (2007).
93. Stapelberg, R.F. ed: Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design. Springer Verlag, London (2009).
94. Starowicz, W.: Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym. Podręcznik dla studentów szkół technicznych. Politechnika Krakowska, Kraków (2007).
95. Stoneham, D.: Maintenance management and technology handbook. Elsevier, London (1998).
96. Suda, J.: Zarządzanie ruchem pojazdów transportu publicznego obsługujących miasta i regiony. Presented at the V Konferencja Naukowo-Techniczna “Zintegrowany transport publiczny w obsłudze miast i regionów” PublicTrans 2010, Zakopane 26 listopada (2010).
97. Świdorski, A. et al.: Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artificial neural networks. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2, 20, 292–299 (2018).
98. Szewczak, K.H.: Zarządzanie eksploatacją środków trwałych w przedsiębiorstwie. Difin SA, Warszawa (2013).
99. Szkoda, M.: Ocena niezawodności i efektywności kolejowych systemów przestawczych w transporcie materiałów niebezpiecznych. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, 1–10 (2010).
100. Szymonik, A.: *Ekonomia transportu dla potrzeb logistyk(i), Teoria i Praktyka*. Difin, Warszawa (2013).
101. Tomaszek, H., Wróblewski, M.: Metoda oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*. 4, 132, 29 (2002).
102. Tomaszek, H., Wróblewski, M.: Metoda oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych z uzupełnieniem pomiędzy operacjami. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*. 4, 120, 29 (1999).
103. Tomaszek, H., Wróblewski, M.: Zarys metody oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych z uwzględnieniem kosztów. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*. 3, 119, 29 (1999).

104. Tułeczki, A.: Life Cycle Cost (LCC) jako miara efektywności środków transportu szynowego. *Pojazdy Szynowe*. 10, (1999).
105. Waleśiak, M., Gatnar, E.: Statystyczna analiza danych z wykorzystaniem programu R. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (2009).
106. Wątroba, J.: Wprowadzenie do analizy wariancji. StatSoft. (2002).
107. Ważyńska – Fioł, K., Jaźwiński, J.: Niezawodność systemów technicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1990).
108. Wireman, T.: Preventive Maintenance. Industrial Press Inc., New York (2008).
109. Wolański, M.: Efektywność ekonomiczna procesów demonopolizacji komunikacji miejskiej w Polsce. Szkoła Główna Handlowa (2009).
110. Wolszczan, J.: Zastosowanie teorii masowej obsługi w transporcie samochodowym. WKŁ, Warszawa (1970).
111. Woropay, M. et al.: Analiza wyników badań modelu procesu eksploatacji maszyn. Presented at the Materiały IX Konferencji Naukowej nt.: „Problemy w konstrukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i ceramicznych”, Kraków 15 maja (1998).
112. Woropay, M. et al.: Metoda diagnozowania stanu systemu eksploatacji. Presented at the Diag '98, IV Krajowa Konferencja nt.: „Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów”, Szczecin - Międzyzdroje - Ystad 18 września (1998).
113. Woropay, M.: Metoda oceny realizacji procesu eksploatacji w systemie transportowym. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz (1998).
114. Woropay, M. et al.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom (2003).
115. Woropay, M. ed: Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn. Instytut Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz - Radom.
116. Woropay, M., Landowski, B.: Analiza symulacyjna procesu eksploatacji w systemie komunikacji miejskiej. Wydawnictwo Uczelniane ART, Bydgoszcz (1998).
117. Woropay, M., Muślewski, Ł.: Jakość w ujęciu systemowym. Instytut Technologii Eksploatacji - Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, Radom (2005).
118. Wróblewski, M.: Metoda efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych bez uzupełniania pomiędzy operacjami. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*. 1, 121, 29 (2000).
119. Wrzołek, A.: System transportu zbiorowego w Lublinie – analiza aktualnego stanu. Projekt modernizacji. , Lublin (2004).
120. Yadav, O.P., Zhuang, X.: A practical reliability allocation method considering modified criticality factors. *Reliability Engineering and System Safety*. 129, 57–65 (2014).
121. Yatskiv, I. et al.: Urban public transport system's reliability estimation using microscopic simulation. *Transport and Telecommunication*. 13, 3, 219–228 (2012).
122. Yuan, X., Lu, Z.: Efficient approach for reliability-based optimization based on weighted importance sampling approach. *Reliability Engineering and System Safety*. 132, 107–114 (2014).
123. Instrukcja warsztatowa, Autobus miejski Mercedes Benz Connecto 628 LF, (2009).
124. Instrukcja warsztatowa, Autobus miejski Solaris Urbino 12, (2008).
125. PN-82N-04001 - Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.
126. PN-EN 60300-3-3 - Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań – szacowanie kosztu cyklu życia.
127. The Fast Guide to OEE., www.vorna.com, www.oee.com.

10. ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1

SCHEMAT KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W LUBLINIE [35]



Załącznik nr 2

PRZYKŁADOWE KARTY DOKUMENTACJI EKSPLOATACYJNEJ

Tab. 1. Karta oszczędności / przejazdów

Wydruk oszczędności/przejazdów za okres: 2011-01-01 - 2011-01-31										
Zakres danych: Oszczędność i przejazd ogółem										
Pojazd: 22290		Zużycie paliwa [Litry]						Tankowania [Litry]		
Data	Przebieg [Km]	Wg normy			Faktyczne		+ Przejazd - Oszczędność	Olej silnikowy	Ocz. spalin Ad Blue	Paliwo
		Droga	Ogrzew	Inne	Ogółem	Bez ogrzewan				
2011-01-01	245,735	98,32	11,4	0	90	78,6	19,72	0	0	90
2011-01-02	248,290	99,38	9,13	0	109,33	100,2	-0,82	0	0	109,21
2011-01-03	275,352	110,26	18,14	0	120,77	102,63	7,63	0	0	120,89

Tab. 2. Wykaz kosztów materiałowych

ZUŻYCIE MATERIAŁÓW - KARTOTEKI					
Dokumenty RW, ZW, DZ+ ORAZ WSP, WSR za okres od dnia: 2014-01-01 do dnia: 2014-01-31					
Zlecenia:		A2290; A2291; A2292; ...			
R. zużycia		wg wzorca:			
L. P.	Zlecenie	Indeks	Nazwa	Ilość	Wartość
1	12-A2290-01	0242-22101-000-0	Olej napędowy	2 894,240	12 025,61
2	12-A2290-03	1221-19001-000-0	Płyn ADBLUE do katalizatorów spalin	18,000	11,34
3	12-A2290-03	0246-95004-000-0	Płyn do układów chłodzących	1,870	4,77

Tab. 3. Przykładowy zbiór oznaczeń kodowych do wypełnienia karty zjazdów i przestojów pojazdu

L.P.	Kod usterki	Nazwa przyczyny
Rodzaj układu: elektryczny		
1	16	Alternator
2	18	Regulator napięcia
3	19	Akumulator
4	20	Instalacja elektryczna
5	66	Instalacja wysokiego napięcia
6	603	Główny włącznik prądu
7	606	Słabe akumulatory

Załącznik nr 3**STATYSTYKI OPISOWE GOTOWOŚCI TECHNICZNEJ
AUTOBUSÓW W FUNKCJI CZASU UŻYTKOWANIA
W UJĘCIU MIESIĘCZNYM**

Gotowość techniczna autobusów krajowych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
1	0,938	0,092	0,098	0,800	1,000
2	0,794	0,166	0,209	0,267	1,000
3	0,890	0,083	0,094	0,700	1,000
4	0,885	0,087	0,098	0,625	1,000
5	0,927	0,046	0,049	0,850	1,000
6	0,913	0,069	0,076	0,800	1,000
7	0,933	0,040	0,043	0,875	1,000
8	0,862	0,056	0,065	0,750	0,950
9	0,883	0,037	0,042	0,825	0,950
10	0,968	0,039	0,040	0,900	1,000
11	0,957	0,032	0,033	0,900	1,000
12	0,955	0,028	0,029	0,900	1,000
13	0,950	0,036	0,038	0,900	1,000
14	0,838	0,067	0,080	0,725	0,950
15	0,813	0,055	0,067	0,725	0,900
16	0,926	0,037	0,040	0,875	1,000
17	0,918	0,031	0,034	0,850	0,975
18	0,916	0,037	0,040	0,850	1,000
19	0,825	0,069	0,084	0,725	0,950
20	0,008	0,000	0,055	0,008	0,009
21	0,873	0,067	0,077	0,725	0,950
22	0,882	0,042	0,048	0,800	0,950
23	0,932	0,053	0,056	0,825	1,000
24	0,890	0,052	0,059	0,800	0,975
25	0,009	0,000	0,038	0,008	0,010
26	0,856	0,071	0,083	0,725	0,975
27	0,769	0,056	0,072	0,650	0,850
28	0,849	0,052	0,061	0,775	0,925
29	0,840	0,057	0,067	0,725	0,925
30	0,845	0,058	0,069	0,725	0,950

Gotowość techniczna autobusów krajowych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
31	0,899	0,075	0,083	0,775	1,000
32	0,943	0,044	0,046	0,850	1,000
33	0,966	0,031	0,032	0,900	1,000
34	0,895	0,054	0,060	0,825	1,000
35	0,938	0,036	0,038	0,850	1,000
36	0,967	0,033	0,034	0,900	1,000
37	0,944	0,044	0,047	0,825	1,000
38	0,848	0,058	0,068	0,750	0,950
39	0,839	0,071	0,084	0,750	0,950
40	0,916	0,065	0,071	0,775	1,000
41	0,902	0,063	0,069	0,750	1,000
42	0,863	0,075	0,087	0,725	0,950
43	0,836	0,100	0,120	0,600	1,000
44	0,912	0,054	0,059	0,825	1,000
45	0,795	0,148	0,187	0,525	1,000
46	0,778	0,057	0,074	0,675	0,900
47	0,764	0,103	0,135	0,500	0,925
48	0,788	0,060	0,076	0,700	0,900
49	0,805	0,093	0,116	0,500	0,900
50	0,772	0,085	0,110	0,650	0,875
51	0,788	0,064	0,081	0,700	0,900
52	0,836	0,030	0,036	0,800	0,900
53	0,854	0,050	0,059	0,750	0,950
54	0,861	0,038	0,044	0,800	0,925
55	0,862	0,049	0,057	0,775	0,950
56	0,867	0,075	0,087	0,700	0,950
57	0,851	0,065	0,077	0,750	0,950
58	0,920	0,065	0,070	0,800	1,000
59	0,869	0,039	0,044	0,800	0,950
60	0,854	0,068	0,080	0,650	0,950
61	0,873	0,043	0,049	0,800	0,950
62	0,700	0,037	0,053	0,600	0,750
63	0,726	0,027	0,037	0,700	0,800
64	0,962	0,039	0,041	0,850	1,000

Gotowość techniczna autobusów krajowych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
65	0,834	0,079	0,094	0,675	0,975
66	0,822	0,058	0,070	0,725	0,900
67	0,838	0,050	0,059	0,750	0,925
68	0,857	0,061	0,071	0,725	0,950
69	0,905	0,043	0,047	0,825	0,975
70	0,945	0,044	0,046	0,825	1,000
71	0,836	0,069	0,082	0,725	0,925
72	0,864	0,100	0,116	0,500	0,950
Gotowość techniczna autobusów zagranicznych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
1	0,875	0,231	0,265	0,500	1,000
2	0,863	0,222	0,257	0,500	1,000
3	0,920	0,162	0,176	0,500	1,000
4	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000
5	0,988	0,056	0,057	0,750	1,000
6	0,964	0,090	0,093	0,750	1,000
7	0,804	0,226	0,280	0,500	1,000
8	0,677	0,257	0,380	0,200	1,000
9	0,921	0,047	0,051	0,818	1,000
10	0,963	0,025	0,026	0,932	1,000
11	0,920	0,029	0,032	0,841	0,955
12	0,909	0,041	0,045	0,818	0,955
13	0,009	0,001	0,076	0,007	0,010
14	0,913	0,025	0,027	0,864	0,955
15	0,955	0,035	0,037	0,886	1,000
16	0,866	0,043	0,050	0,795	0,955
17	0,947	0,065	0,069	0,773	1,000
18	0,009	0,000	0,052	0,008	0,010
19	0,832	0,061	0,074	0,705	0,977
20	0,876	0,063	0,072	0,750	1,000
21	0,952	0,031	0,033	0,886	1,000
22	0,973	0,030	0,031	0,909	1,000
23	0,984	0,021	0,022	0,932	1,000
24	0,947	0,031	0,033	0,864	1,000

Gotowość techniczna autobusów zagranicznych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
25	0,920	0,100	0,109	0,523	1,000
26	0,936	0,037	0,039	0,886	1,000
27	0,931	0,036	0,039	0,841	0,977
28	0,981	0,022	0,023	0,932	1,000
29	0,970	0,033	0,034	0,864	1,000
30	0,969	0,033	0,034	0,909	1,000
31	0,908	0,049	0,054	0,818	1,000
32	0,925	0,065	0,070	0,727	1,000
33	0,947	0,042	0,045	0,818	1,000
34	0,963	0,043	0,045	0,864	1,000
35	0,967	0,035	0,036	0,886	1,000
36	0,908	0,046	0,050	0,841	0,977
37	0,889	0,038	0,043	0,818	0,977
38	0,917	0,054	0,059	0,795	1,000
39	0,917	0,037	0,040	0,841	0,977
40	0,878	0,054	0,062	0,727	0,955
41	0,848	0,063	0,074	0,682	0,909
42	0,906	0,051	0,057	0,818	0,977
43	0,838	0,051	0,061	0,727	0,909
44	0,900	0,042	0,047	0,818	0,977
45	0,894	0,043	0,048	0,818	0,955
46	0,909	0,034	0,037	0,841	0,955
47	0,960	0,030	0,032	0,886	1,000
48	0,819	0,173	0,211	0,500	0,955
49	0,908	0,040	0,044	0,841	1,000
50	0,918	0,039	0,042	0,864	1,000
51	0,880	0,053	0,060	0,773	0,955
52	0,891	0,042	0,047	0,818	0,955
53	0,923	0,074	0,080	0,773	1,000
54	0,968	0,032	0,034	0,909	1,000
55	0,828	0,041	0,050	0,773	0,909
56	0,649	0,054	0,083	0,545	0,727
57	0,940	0,046	0,049	0,864	1,000
58	0,925	0,051	0,056	0,795	1,000

Gotowość techniczna autobusów zagranicznych					
m-c	średnia	odch. stan.	wsp. zmien.	w. min	w. max
59	0,846	0,046	0,054	0,773	0,955
60	0,814	0,085	0,105	0,682	0,955
61	0,898	0,063	0,070	0,795	1,000
62	0,864	0,063	0,073	0,750	0,955
63	0,938	0,037	0,040	0,886	1,000
64	0,959	0,023	0,024	0,909	1,000
65	0,927	0,144	0,155	0,318	1,000
66	0,966	0,029	0,030	0,909	1,000
67	0,938	0,048	0,051	0,795	1,000
68	0,866	0,061	0,070	0,727	0,977
69	0,905	0,033	0,036	0,818	0,955
70	0,918	0,035	0,039	0,841	0,977
71	0,949	0,037	0,039	0,864	1,000

Załącznik nr 4

STATYSTYKI OPISOWE KOSZTÓW OBSŁUG TECHNICZNYCH AUTOBUSÓW W FUNKCJI CZASU UŻYTKOWANIA W UJĘCIU MIESIĘCZNYM [ZŁ]

miesiące	Koszty obsługi technicznych									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	4		0,00	40	40	33	46	1,42	18	176
2	3		0,00	62	62	-	-	-	-	-
3	5	59	12,50	2	92	62	0	0,00	8	8
4	2	5	2,22	1	12	-	-	-	-	-
5	9	15	1,64	50	50	2	0	0,00	120	120
6	8	6	0,73	0	80	1	59	117,83	18	120
7	4		0,00	80	80	50	43	0,86	8	120
8	322	304	0,95	199	1017	0	65	327,16	9	122
9	245	397	1,62	95	1056	80	94	1,18	260	583
10	406	421	1,04	18	1056	199	185	0,93	86	555
11	11	6	0,57	18	39	95	202	2,14	106	544
12	40	89	2,23	18	245	18	101	5,64	56	251
13	35	86	2,43	39	324	18	45	2,49	63	178
14	37	94	2,53	39	245	18	70	3,92	56	284
15	38	103	2,71	18	245	39	47	1,21	56	178
16	9	95	11,16	18	153	39	104	2,70	56	284

miesiące	Koszty obsługi technicznych									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
17	381	4	0,01	1267	1275	18	281	15,57	106	1006
18	338	437	1,29	33	1275	18	386	21,42	178	725
19	273	420	1,54	93	1183	1267	0	0,00	184	184
20	133	549	4,11	258	1249	33	0	0,00	490	490
21	97	465	4,78	245	1183	93	0	0,00	644	644
22	65	0	0,00	258	258	258	230	0,89	170	495
23	55	83	1,50	73	258	245	0	0,00	1192	1192
24	109	415	3,83	258	1138	258	0	0,00	170	170
25	151	332	2,20	258	953	73	215	2,95	178	858
26	361	13	0,04	1000	1037	258	329	1,28	47	947
27	44		0,00	880	880	258	369	1,43	106	1014
28	266	293	1,10	292	1055	1000	237	0,24	47	780
29	153	448	2,94	93	1037	880	368	0,42	47	1240
30	78	128	1,65	1	259	292	144	0,49	48	678
31	96	333	3,46	258	850	93	148	1,59	48	571
32	68	36	0,53	257	338	1	154	126,57	170	603
33	132	236	1,79	220	780	258	287	1,11	5	837
34	216	365	1,69	220	1197	257	432	1,68	123	1826
35	339	415	1,22	67	1234	220	235	1,07	122	843
36	101	0	0,00	1014	1014	220	523	2,38	432	2197
37	421	428	1,02	2	1286	67	303	4,54	98	945
38	253	436	1,73	258	1287	1014	158	0,16	146	676
39	169	402	2,37	201	1311	2	351	143,93	173	1299
40	159	353	2,22	9	1014	258	438	1,70	59	1551
41	192	539	2,80	154	1556	201	432	2,15	47	1278
42	67	141	2,12	45	414	9	189	22,11	47	605
43	112	64	0,58	156	356	154	267	1,74	78	860
44	330	384	1,17	227	1181	45	387	8,60	5	1091
45	65	124	1,93	41	397	156	152	0,97	25	685
46	87	366	4,23	155	808	227	771	3,39	30	3183
47	342	465	1,36	170	1400	41	153	3,74	35	494
48	128	311	2,42	170	1025	155	325	2,10	30	1034
49	258	337	1,31	120	1300	170	400	2,35	13	973
50	169	409	2,41	155	1127	170	216	1,27	46	696
51	422	372	0,88	155	1523	120	184	1,54	227	855
52	182	251	1,38	126	873	155	190	1,22	13	454

miesiąc	Koszty obsługi technicznych									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
53	407	369	0,91	205	1246	155	431	2,78	59	1123
54	169	458	2,71	4	1151	126	209	1,66	155	906
55	293	623	2,13	4	1915	205	309	1,51	30	906
56	495	640	1,29	51	1943	4	211	51,76	18	590
57	129	317	2,46	155	977	4	624	153,31	190	1764
58	134	119	0,89	5	472	51	243	4,74	10	683
59	168	233	1,39	132	655	155	325	2,10	13	952
60	149	353	2,37	96	1096	5	304	62,19	13	1049
61	198	460	2,33	90	1450	132	352	2,67	43	916
62	118	266	2,25	69	869	96	370	3,86	18	1009
63	202	325	1,61	5	904	90	257	2,85	17	876
64	318	403	1,27	60	1297	69	413	5,97	35	1207
65	342	488	1,42	145	1823	5	0	0,00	146	146
66	233	230	0,99	145	896	60	609	10,16	33	894
67	122	139	1,14	32	465	145	0	0,00	410	410
68	63	106	1,68	181	415	145	0	0,00	40	40
69	100	161	1,61	89	432	32	186	5,76	253	516
70	48	131	2,74	64	402	181	51	0,28	256	328
71	63	64	1,02	40	256	-	-	-	-	-
72	78	23	0,29	256	6264	89	0	0,00	876	876

Załącznik nr 5

STATYSTYKI OPISOWE KOSZTÓW NAPRAW AUTOBUSÓW W FUNKCJI CZASU UŻYTKOWANIA W UJĘCIU MIESIĘCZNYM [ZŁ]

miesiąc	Koszty napraw									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
1	2	4	2,02	0	22	18	49	2,74	3	114
2	3	13	4,27	0	10	33	28	0,83	0	97
3	3	16	5,89	0	21	55	29	0,52	23	119
4	2	8	4,44	0	41	55	29	0,52	23	117
5	1	0	0,00	14	14	46	23	0,49	6	92
6	2	4	2,03	4	15	68	46	0,67	0	141
7	17	40	2,42	1	159	49	49	1,00	0	218

miejście	Koszty napraw									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
8	25	43	1,76	2	168	57	44	0,77	0	163
9	157	189	1,20	6	563	132	88	0,66	4	353
10	130	168	1,29	11	468	81	63	0,78	3	269
11	223	238	1,07	5	738	66	54	0,81	1	214
12	85	108	1,26	1	387	41	36	0,87	3	139
13	58	104	1,78	10	474	82	52	0,64	23	200
14	76	91	1,19	1	326	75	62	0,84	1	199
15	114	186	1,64	4	808	108	79	0,73	2	322
16	77	95	1,22	6	296	62	41	0,66	10	144
17	47	51	1,08	2	166	154	136	0,88	3	430
18	181	216	1,19	0	614	7	27	4,07	54	92
19	207	288	1,39	2	943	17	193	11,49	48	321
20	235	248	1,06	10	947	72	112	1,55	713	871
21	162	233	1,44	16	666	45	142	3,13	398	598
22	67	95	1,42	6	427	15	44	2,95	132	194
23	130	175	1,34	2	644	41	281	6,88	250	647
24	144	148	1,03	7	585	199	55	0,28	2152	2231
25	72	61	0,85	9	277	245	241	0,98	17	830
26	107	175	1,64	1	796	206	271	1,32	3	1252
27	279	280	1,00	25	874	182	190	1,04	3	627
28	69	115	1,66	4	348	190	248	1,31	4	910
29	188	257	1,37	5	943	271	388	1,43	2	1872
30	197	218	1,11	7	709	926	994	1,07	108	3051
31	209	197	0,94	18	625	1251	979	0,78	222	4164
32	58	64	1,10	4	269	1558	2408	1,55	58	9931
33	144	141	0,98	0	472	1023	1330	1,30	106	5784
34	131	158	1,21	10	582	1631	1223	0,75	97	4830
35	145	127	0,87	16	514	1173	1687	1,44	22	6479
36	239	228	0,95	2	714	2440	1866	0,76	199	6227
37	105	148	1,40	11	605	1347	1822	1,35	5	6900
38	295	354	1,20	9	1325	807	796	0,99	3	2710
39	443	517	1,17	8	2169	1090	1500	1,38	1	6309
40	586	760	1,30	12	2543	994	890	0,89	11	3073
41	847	1114	1,31	48	3811	2091	2975	1,42	26	12104
42	976	1033	1,06	33	3835	1435	1063	0,74	377	5304
43	562	735	1,31	0	2584	1183	1169	0,99	3	3657

miejscę	Koszty napraw									
	Krajowe					Zagraniczne				
	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max	średnia	odch. stan.	wsp. zmie.	w. min	w. max
44	1667	2385	1,43	11	8670	1261	1396	1,11	5	5863
45	1831	1568	0,86	60	5361	1770	1346	0,76	28	4666
46	1829	2174	1,19	13	8678	1161	1470	1,27	23	6303
47	1513	1351	0,89	12	5111	1388	1362	0,98	51	4203
48	1129	1208	1,07	13	4605	1283	1225	0,95	103	4736
49	1523	1595	1,05	105	5750	1187	1344	1,13	4	4276
50	876	902	1,03	3	2643	1083	1384	1,28	18	5609
51	1119	1110	0,99	43	3820	687	670	0,97	12	2566
52	1438	1770	1,23	95	5631	843	693	0,82	1	2292
53	817	926	1,13	13	4120	1003	1133	1,13	11	4979
54	1282	1113	0,87	111	4586	1825	1808	0,99	29	5650
55	812	934	1,15	40	3860	1386	1204	0,87	140	5198
56	1308	1248	0,95	0	4187	1212	1430	1,18	37	6118
57	2060	1317	0,64	93	5185	1197	1072	0,90	31	3867
58	1149	984	0,86	12	2828	1096	1191	1,09	32	4731
59	1429	974	0,68	217	4210	1236	1190	0,96	78	4491
60	1286	1626	1,26	33	5411	1008	1081	1,07	36	3991
61	1094	951	0,87	8	3188	1975	1819	0,92	13	5592
62	1204	1215	1,01	94	4397	1348	2463	1,83	27	11462
63	860	850	0,99	4	2808	1654	1734	1,05	45	6580
64	1522	1868	1,23	19	5894	2413	1507	0,62	106	5931
65	779	847	1,09	52	2906	1677	898	0,54	1041	2312
66	1797	1686	0,94	20	6462	200	3100	15,51	7	4391
67	1587	1248	0,79	209	4133	585	25	0,04	568	603
68	1792	1598	0,89	6	5675	463	401	0,87	180	747
69	1466	1188	0,81	92	3947	340	4472	13,14	241	6565
70	941	941	1,00	75	3431	573	82	0,14	515	631
71	1784	1626	0,91	75	5578	369	170	0,46	249	489
72	1751	2291	1,31	20	8615	420	40	0,10	392	449

Załącznik nr 6

PODZIAŁ AUTOBUSU NA UKŁADY I PODZESPOŁY

Lp.	Oznakowanie kodowe	Nazwa układu	Oznakowanie kodowe podzespołu	Nazwa podzespołu
1	US	silnik całość	1	Silnik
			2	Wyciek z silnika
			3	Przedmuchi
			4	Stuki
			5	Blokada silnika
			304	EDC
			305	Obroty w silniku
			306	Wyciek płynu
			307	Wyciek oleju
			308	Wyciek paliwa
			309	Brak mocy
			310	Nadmierne zadymienie
			325	Wyciek AdBlue
2	UCH	chłodzenia	06	Chłodnica
			07	Pompa wodna
			08	Przewody wodne
			09	Paski klinowe
			10	Napinacz
			11	Wentylator
			12	Grzanie silnika
			1004	Sprzęgło wentylatora
			1007	Cieknie chłodnica
			1008	Wyciek płynu
			1009	Termoregulator
			1010	Paski wentylatora
1011	Ośłona chłodnicy			
3	UZ	zasilania	17	Rozrusznik
			49	Pompa wtryskowa
			50	Linka gazu
			51	Zapłon
			52	Próba przepału
3	UZ	zasilania	53	Sprzęgło pompy wtryskowej
			54	Zbiornik paliwa

Lp.	Oznakowanie kodowe	Nazwa układu	Oznakowanie kodowe podzespołu	Nazwa podzespołu
			56	Brak rozruchu
4	UH	hamulcowy	29	Hamulce
			46	Siłownik hamulca
			47	Główny zawór hamulca
			110	Dźwignia hamulca ręcznego
			502	Hamulec elektryczny
			503	ABS
			504	Blokujące hamulce
			505	Retarder
5	UN	przeniesienia napędu	24	Skrzynia biegów
			25	Mechanizmy sterujące skrzynią biegów
			26	Sprzęgło
			27	Wał napędowy
			28	Piasta
			30	Tylni most
			31	Układ wspomagania sprzęgła
			314	Szarpie sprzęgło
			316	Siłownik sprzęgła
			318	Szarpie skrzynia
			319	Brak biegów
			320	Przeciąga biegi
			321	Rozłączka biegi
6	UZW	zawieszenia	32	Drażki stabilizatora
			33	Końcówki stabilizatora
			34	Amortyzator
			36	Zawory poziomujące
			37	Resory
			81	Zawieszenie
			403	Piasta
			408	Drażek reakcyjny
409	Stuki w zawieszeniu			

Lp.	Oznakowanie kodowe	Nazwa układu	Oznakowanie kodowe podzespołu	Nazwa podzespołu
7	UE	elektryczny	16	Alternator
			18	Regulator napięcia
			19	Akumulator
			20	Instalacja elektryczna
			22	Nastawnik
			66	Instalacje wysokiego napięcia
			603	Główny włącznik prądu
			604	Stacyjka
			606	Słabe akumulatory
			607	Autokomputer kasowników
			806	Sygnal dźwiękowy
			807	Przerywacz kierunkowskazów
			808	Przełącznik zespolony
			809	Silnik nadmuchu sprężarki
			811	Zwarcie instalacji
			1101	Sterowniki
8	UP	pneumatyczny	35	Miech powietrza
			43	Sprężarka
			44	Przewody pneumatyczne
			45	Zawór nadmiaru
			48	Zamarznięty układ pneumatyczny
			102	Paski sprężarki
			106	ECAS
			107	Zawór poziomujący
			112	Zapowietrzony układ
9	UOK	ogrzewania i klimatyzacji	13	Pompa centralnego ogrzewania
			14	Skrzynka sterownika centralnego ogrzewania

Lp.	Oznakowanie kodowe	Nazwa układu	Oznakowanie kodowe podzespołu	Nazwa podzespołu
9	UOK	ogrzewania i klimatyzacji	15	centralnego ogrzewania
			1301	Nadmuch na szyby
			1302	Ogrzewanie kabiny kierownicy
			1305	Webasto
10	UOG	ogumienie	57	Opony
			74	Dokręcenie koła
11	UOW	oświetlenie	21	Żarówki
12	UK	kierowniczy	59	Kolumna kierowniczy
			60	Wspomaganie
			61	Luzy
13	UWP	wyposażenie pojazdu	40	Siedzenie pasażera
			41	Siedzenie kierowcy
			58	Licznik na desce rozdzielczej
			78	Kasownik
			79	Filtr powietrza
			1102	Poręcz
			1103	Wyświetlacz tablic
			1104	Tablice docelowe
			1108	Szyberdach
			1619	Monitoring
			14	USZ
15	UD	drzwi	39	Drzwi
			1201	Cewka drzwi
			1202	Sworzeń
			1203	Siłownik
			1204	Blokada
			1205	Przycisk
			1206	Wyłącznik końcowy drzwi
			1207	Kontrolka drzwi

L.p.	Oznakowanie kodowe	Nazwa układu	Oznakowanie kodowe podzespołu	Nazwa podzespołu
15	UD	drzwi	1208	Rewers drzwi
			1210	Drzwi kabiny kierowcy
16	UKR	kratownica	42	-
17	UL	lusterka	63	-
18	UKL	kolizje	62	-