

Tomasz Goliasz, Józef Pszczółkowski

# Badanie charakterystyk eksploatacyjnych uszkodzeń pojazdów kołowych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2019.037

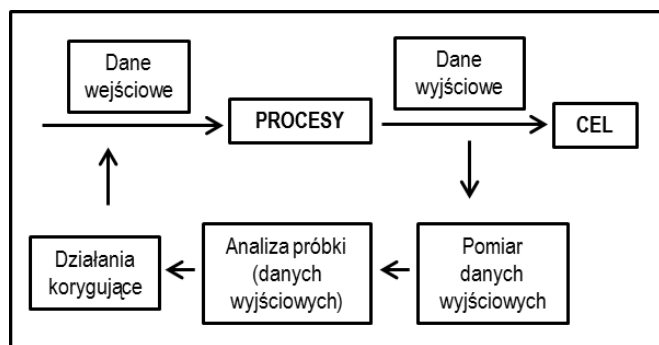
Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule dokonano oceny charakteru zdarzeń eksploatacyjnych polegających na wystąpieniu w pojeździe awarii wymagającej wykonania naprawy bieżącej. Zbudowano empiryczne charakterystyki uszkodzeń badanej grupy pojazdów w wybranym wojskowym systemie eksploatacji. Dokonano oceny zgodności empirycznych rozkładów z rozkładem wykładniczym i normalnym. Porównanie zostało wykonane na podstawie testu zgodności chi kwadrat. Zwrócono uwagę na potrzebę umiejętnej budowania baz danych eksploatacyjnych w celu wykorzystania ich do badania procesów eksploatacyjnych flot pojazdów na małą i dużą skalę.

**Słowa kluczowe:** uszkodzenie, niezawodność, system obsługi.

## Wstęp

Skuteczność działania systemu utrzymania i kontroli w systemie obsługowo-naprawczym jest podstawą dobrego zarządzania systemem konserwacji sprzętu. Kontrolowanie systemu obsługowo-naprawczego oznacza koordynację popytu na obsługiwane i dostępność środków w celu osiągnięcia pożądanego poziomu skuteczności i efektywności. W związku z powyższym istotne jest odpowiednie budowanie baz danych o stanach systemu w obszarach mających wpływ na kontrolowanie procesów obsługowo-naprawczych. W ogólnym zarysie schemat budowania baz danych, które mogą posłużyć do analizy działania systemu można zobrazować, jak na rysunku nr 1.

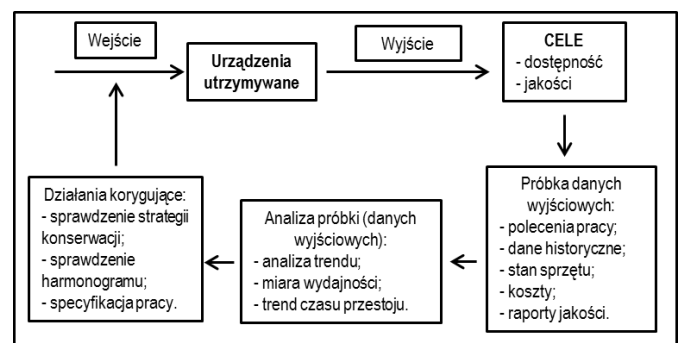


Rys. 1. Schemat tworzenia bazy danych w systemie obsługowo-naprawczym

System może działać efektywniej, gdy zostanie zdefiniowany mechanizm i zakres budowania baz danych. Jedną z metod pozyskania danych jest analiza zamówień oraz kart pracy. Wówczas taki system gromadzenia informacji jest instrumentem do planowania i sterowania pracami konserwacyjnymi (obsługowo-naprawczymi). Dostarcza również informacji niezbędnych do monitorowania i raportowania prac konserwacyjnych. Graficznie obrazuje to schemat pokazany na rysunku nr 2.

Analiza daje lepsze rezultaty, gdy stosuje się narzędzia w postaci metod i modeli matematycznych. Staje się ona wówczas instrumentem do optymalizacji procesów zachodzących w systemie. W artykule przedstawiono analizę danych dotyczących zdarzeń obsługowo-naprawczych grupy pojazdów osobowych oraz ciężar-

wych o dopuszczalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3,5 tony, m.in. w kontekście niezawodnościowym badanej grupy pojazdów. Analiza została przeprowadzona w celu określenia prawdopodobieństwa wykonania naprawy bieżącej po przejechaniu określonego dystansu. Może to dawać podstawę do planowania i przewidywania obciążenia bazy serwisowej (obsługowo-naprawczej), w konsekwencji lepszej organizacji procesów obsługowo-naprawczych. W artykule została podjęta próba ustalenia charakteru rozkładu matematycznego, jaki mają występujące uszkodzenia w badanej grupie pojazdów. Zostało to wykonane przy pomocy testu chi kwadrat, który pokazał zgodność lub jej brak z rozkładem wykładniczym i rozkładem normalnym. Na tej podstawie można sformułować ewentualne wnioski w zakresie przewidywania kolejnych uszkodzeń jednostki sprzętowej z danej grupy pojazdów, a w konsekwencji obciążenie stacji obsługowych pojazdów, czy zasadności dalszej eksploatacji.



Rys. 2. System budowania baz danych, jako instrument zarządzania systemem obsługowo-naprawczym

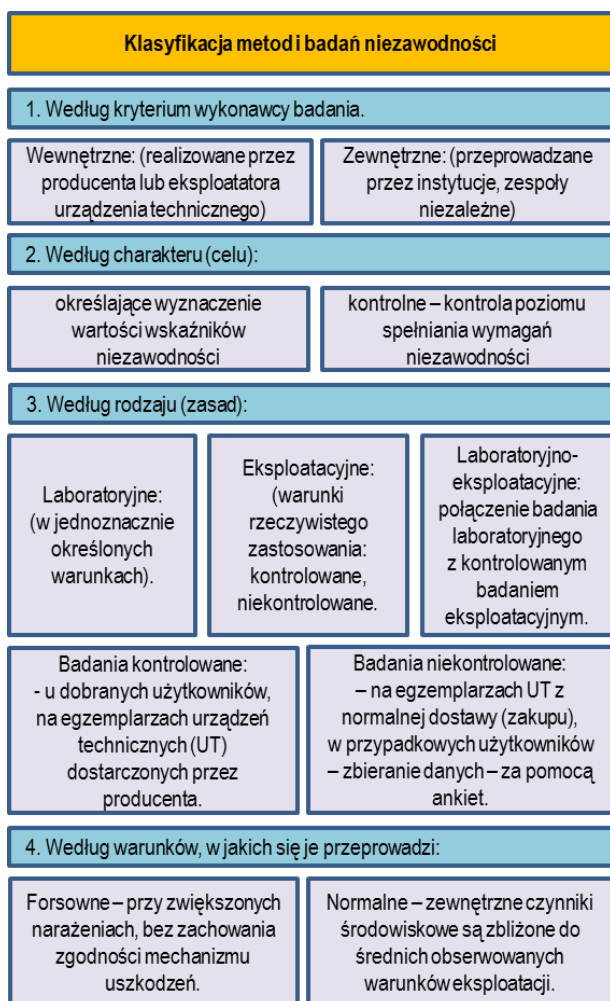
## 1. Charakterystyki niezawodności obiektów nienaprawialnych

Niezawodność, to właściwość obiektu technicznego polegająca na jego zdolności do spełniania wyznaczonych mu funkcji zgodnych z przeznaczeniem, w danych warunkach i czasie eksploatacji. Może być definiowana jako to prawdopodobieństwo, że obiekt będzie prawidłowo spełniał swoje zadania w danych warunkach przez określony czas. Podstawowymi stanami niezawodności obiektu są stan zdatności i niezdatności.

Cechy składowe niezawodności obejmują:

1. Poprawność działania (nieuszkodzalność, bezawaryjność), która oznacza właściwość obiektu polegającą na zachowaniu zdolności do pracy w ciągu określonego czasu (przebiegu) bez nieplanowych, wymuszonych uszkodzeniami przestoju.
2. Trwałość jest to właściwość obiektu technicznego polegająca na zachowaniu w wymaganych granicach głównych parametrów roboczych określających jego stan graniczny. Trwałość jest mierzona ilością wykonanej pracy przez obiekt, np. przebiegiem. Nie powinna być utożsamiana z okresem eksploatacji, który oznacza kalendarzowy czas eksploatacji obiektu.
3. Naprawialność (podatność naprawcza) jest to właściwość obiektu polegająca na przystosowaniu go do odnowy stanu zdatności przez zapobieganie i usuwanie uszkodzeń drogą usług technicznych i napraw (bez wymiany zespołów na nowe).

4. Zachowawczość jest to właściwość obiektu polegająca na zachowaniu ustalonych wartości wskaźników eksploatacyjnych w trakcie i po upływie okresu przechowywania i transportu. Klasyfikację metod badań niezawodności z uwzględnieniem czterech kryteriów klasyfikacyjnych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Klasyfikacja metod badań niezawodności.

Charakterystyki skumulowane (sumaryczne, całkowite) określają całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia (lub nie-) uszkodzenia od chwili wyprodukowania do danej chwili.

Funkcja zawodności  $F(l)$  – prawdopodobieństwo uszkodzenia w przedziale resursu  $\langle 0, l \rangle$ , jest dystrybucją resursu i oznacza prawdopodobieństwo, że zmienna losowa  $L$  przyjmie wartość mniejszą od  $l$ . Dystrybucja określa zawodność obiektu technicznego.

$$F(l) = P(L < l) \quad (1)$$

$$F(l) = \frac{n(l)}{N(0)} \quad (2)$$

gdzie:  $n(l)$  – liczba elementów, które uległy uszkodzeniu do chwili  $l$ ;  $N(0)$  – liczba elementów zdalnych w chwili początkowej.

Funkcja niezawodności  $R(l)$  – prawdopodobieństwo, że obiekt nie ulegnie uszkodzeniu w przedziale  $(0, l)$ , – zmienna losowa  $L$  przyjmie wartość nie mniejszą od  $l$ :

$$R(l) = P(L \geq l) \quad (3)$$

$$R(l) = 1 - \frac{n(l)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(l)}{N(0)} \quad (4)$$

$$F(l) + R(l) = 1 \quad (5)$$

Charakterystyki jednostkowe (właściwe) niezawodności określają prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w danej chwili

(przedziale) przypadające na jednostkę resursu (funkcja gęstości i intensywności uszkodzeń).

Zagadnieniami wyznaczania ekonomicznego okresu użytkowania obiektu zajmuje się teoria odnowy, która bada właściwości zbiorów, z których poszczególne elementy ubywają, a na ich miejsce przybywają nowe. Teoria odnowy odpowiada m.in. na pytanie, kiedy obiekt lub jego element powinien być zastąpiony nowym ze względów ekonomicznych. Z teorii odnowy wynika, że nie zawsze opłaca się wymieniać obiekt czy jego element na nowy dopiero wtedy, gdy stanie się niesprawny lub gdy nie ma już możliwości fizycznych (biologicznych) przywrócenia sprawności. W pewnych przypadkach lepiej wymienić go wcześniej [6].

## 2. Narzędzia analizy danych o niezawodności

Często najważniejszym zadaniem opracowania wyników badań jest weryfikacja hipotezy statystycznej, że charakterystyka niezawodności danego urządzenia ma określony typ rozkładu. W tym przypadku można posłużyć się testem chi kwadrat (badanie sumy odchyień względnych wyników). Test zgodności chi-kwadrat (inaczej zwany testem Pearsona) służy do porównania ze sobą zaobserwowanego rozkładu badanej zmiennej z teoretycznym rozkładem, np. wykładniczym, normalnym.

Polega on na postawieniu hipotezy zerowej  $H_0$ , mówiącej o tym, że badana cecha charakteryzuje się konkretnym, zakładanym rozkładem, np. wykładniczym, normalnym lub innym. Zatem hipoteza  $H_0$  jest to przypuszczenie, że rozkład empiryczny badanego zjawiska odpowiada założonemu rozkładowi teoretycznemu o dystrybucji  $F(x)$ . Jednocześnie stawiana jest alternatywna hipoteza  $H_1$ , która mówi o tym, że rozkład jest innego typu niż założony:

$$H_0 = F(x) = F_0(x) \quad (6)$$

$$H_1 = F(x) \neq F_0(x) \quad (7)$$

Jednakże przy testowaniu zgodności rozkładu badanej zmiennej z dobrze znanymi rozkładami teoretycznymi w statystyce np. normalnym, Poissona można stosować inne testy, np. test K-S, test Shapiro-Wilka. Test zgodności chi-kwadrat w praktyce można wykorzystać na różne sposoby:

- sprawdzenie równoliczności grup
- porównanie występowania obserwacji z ich teoretycznym występowaniem.

Sprawdzaniem hipotezy zerowej jest statystyka wyrażona w następujący sposób:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i} \quad (8)$$

$f_i$  – oznacza liczbę zaobserwowanych wartości z danego przedziału,  $p_i$  – oznacza prawdopodobieństwo tego, że cecha  $X$  przyjmuje wartość należącą do  $i$ -tego przedziału;  $n \cdot p_i$  – oznacza liczbę jednostek, które powinny znaleźć się w  $i$ -tym przedziale (przy założeniu, że cecha ma rozkład zgodny z hipotetycznym).

Statystyka testu ma rozkład chi kwadrat o  $v = k - r - 1$  stopniach swobody, gdzie  $r$  to liczba szacowanych parametrów, od których zależy rozkład cechy w populacji, natomiast  $k$  to liczba przedziałów klasowych lub wariantów cechy  $X$ . Jeżeli statystyka:

$$\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha} \quad (9)$$

to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, w przeciwnym przypadku istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej.

W celu określenia powyższego musimy znać:

- wartość statystyki chi-kwadrat (wynik testu chi-kwadrat);
- liczbę przebadanych egzemplarzy sprzętu;

– poziom istotności (poziom prawdopodobieństwa), dla którego dany wynik będzie wskazywał na istotną zależność.

Jeżeli np. przyjmujemy, że interesuje nas, czy dany wynik jest istotny statystycznie przy założeniu 5% szans popełnienia błędu przy wnioskowaniu ( $p = 0,05$ ) i do tego wiemy, że zbadaliśmy 100 obiektów, to na przecięciu tych dwóch wartości odczytujemy wartość statystyki chi-kwadrat i porównujemy ją z uzyskaną w obliczeniach statystyką. Jeżeli wartość testu będzie większa niż wartość z tablicy, uznamy, że wynik jest istotny statystycznie (przy założeniu  $p = 0,05$ ) – co wiąże się z odrzuceniem hipotezy zerowej. Jeżeli natomiast wartość testu będzie mniejsza niż wartość z tablicy uznamy wtedy, że wynik nie jest istotny statystycznie i nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

Jako pierwszy przeprowadzono test chi kwadrat, którym zbadano, czy empiryczny rozkład przebiegu między kolejnymi uszkodzeniami (PMKU) jest zgodny z rozkładem wykładniczym. Postawiono hipotezę  $H_0 = F(x) = F_0(x)$ , gdzie  $F_0(x)$  jest dystrybuantą rozkładu wykładniczego. Dla obliczenia wyniku testu najpierw należało określić wartość dystrybuanty rozkładu w punktach oznaczających granice wyznaczonych przedziałów.

Dystrybuantę rozkładu wykładniczego obliczano wg wzoru:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Parametr  $\lambda$  oznaczający intensywność napływu zgłoszeń wyznaczono z wyrażenia:

$$\lambda = \frac{1}{x_{sr}} \quad (11)$$

$x_{sr}$  - średni przebieg między kolejnymi naprawami

$t$  – wartość przebiegu na końcu badanego przedziału [km]

Następnie określono prawdopodobieństwa  $p_i$  jako:

$$p_i = F(t_i) - F(t_{i-1}) \quad (12)$$

Ostatnim etapem badania było obliczenie wartości testu chi kwadrat i porównanie jej z wartością tablicową testu chi kwadrat w celu przyjęcia lub odrzucenia hipotezy zerowej.

Do obliczenia wartości statystyki chi kwadrat dla rozkładu normalnego wyznaczono parametry, którymi są:

– wartość oczekiwana, jako średni przebieg między uszkodzeniami (naprawami bieżącymi):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (13)$$

– odchylenie standardowe  $\sigma$ :

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (14)$$

Następnie przeprowadza się standaryzację rozkładu normalnego, a wartości dystrybuanty  $F(x)$  rozkładu  $N(0,1)$  w punktach  $z_i$  odczytuje się z tablic rozkładu normalnego.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta} \quad (15)$$

### 3. Metodyka budowy bazy danych eksploatacyjnych

Do opracowania analizy zostały wykorzystane dane z kart pracy pojazdów osobowych i samochodów ogólnego przeznaczenia małej ładowności (dostawcze o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 tony). Dzięki informacjom zawartym w kartach usług technicznych tj.: numer rejestracyjny pojazdu, stan licznika pojazdu w chwili przyjęcia

do naprawy, data i czas rozpoczęcia i zakończenia naprawy, ilość wykonanych roboczogodzin w czasie naprawy sprzętu, zużyte materiały, można było przygotować wyjściową bazę danych. Z uwagi na fakt, że karty usług technicznych były prowadzone w formie papierowej, zebranie danych w postaci zdigitalizowanej było procesem bardzo czasochłonnym. W celu analizy danych został opracowany autorski arkusz kalkulacyjny w programie MS Excel, który po zbudowaniu bazy danych umożliwia automatyczne wykonywanie procesów obliczeniowych, których rezultatem jest zbudowanie empirycznych rozkładów, a następnie określenie i potwierdzenie ich zgodności z rozkładem wykładniczym i normalnym oraz badanie innych parametrów niezawodnościowych. Działanie arkusza kalkulacyjnego można opisać w następujący sposób:

1. Usystematyzowanie i uporządkowanie badanej grupy pojazdów (osobowe, dostawcze) pod kątem: numeru rejestracyjnego, rodzaju obsługiwanego, przebiegu pojazdów.
2. Określenie różnicy stanów licznika między uszkodzeniami.
3. Utworzenie tabeli z wartościami wymienionymi w punkcie 2.
4. Określenie wartości: maksymalnej, średniej, odchylenia standardowego, intensywności zgłoszeń dla grupy pojazdów.
5. Odrzucenie wartości przebiegów leżących powyżej wartości trzech odchylen standardowych od wartości średniej – możliwość zmiany granicy przedziału, powyżej której odrzuca się wartości parametru.
6. Zdefiniowanie przedziałów przebiegów: wartość maksymalna przebiegu między kolejnymi uszkodzeniami dzielona jest na określoną ilość przedziałów – według ustalonego kryterium – szerokość przedziału może być zmienna.
7. Zliczenie ilości wartości przebiegów między kolejnymi uszkodzeniami w zdefiniowanym w punkcie 5 przedziale wartości.
8. Wyznaczenie liczby obiektów zdalnych w chwili  $t$ ,  $n(t)$ .
9. Wyznaczenie liczby obiektów niezdatnych w chwili  $t$ ,  $m(t)$ .
10. Wyznaczenie funkcji niezawodności  $R(t)$ .
11. Wyznaczenie funkcji zawodności  $Q(t)$ .
12. Wyznaczenie funkcji gęstości prawdopodobieństwa.
13. Wyznaczenie funkcji intensywności uszkodzeń.

W przypadku testu dla rozkładu wykładniczego:

1. Określenie dystrybuanty rozkładu.
2. Określenie prawdopodobieństwa.
3. Określenie wartości oczekiwanej ( $n \cdot p_i$ ) dla danego przedziału kilometrów.
4. Określenie wartości testu chi kwadrat dla różnych przedziałów i sumarycznie.
5. Porównanie wartości testu chi kwadrat z danymi z tablicy rozkładu testu chi kwadrat.
6. Potwierdzenie lub odrzucenie hipotezy zerowej badanego rozkładu.
7. Sporządzenie wykresów.

W przypadku rozkładu normalnego:

1. Standaryzacja rozkładu normalnego.
2. Określenie dystrybuanty rozkładu.
3. Określenie prawdopodobieństwa.
4. Określenie wartości oczekiwanej ( $n \cdot p_i$ ) dla danego przedziału kilometrów.
5. Określenie wartości testu chi kwadrat dla przedziałów i sumarycznie.
6. Porównanie wartości testu chi kwadrat z danymi z tablicy rozkładu testu chi kwadrat.
7. Potwierdzenie lub odrzucenie hipotezy zerowej badanego rozkładu.
8. Sporządzenie wykresów.

Arkusz kalkulacyjny został skonstruowany w taki sposób, aby w czasie analizy w badanym zakresie przebiegów między kolejnymi uszkodzeniami było minimum pięć zdarzeń. Zostało to wykonane w taki sposób, że wartość przedziału nr 1 określa się dzieląc wartość maksymalną przebiegu między uszkodzeniami (PMKU) przez wartość określoną w czasie analizy. W przypadku liczby zdarzeń mniejszej niż pięć w danym przedziale arkusz daje możliwość zwiększania szerokości przedziału tak, aby ilość zdarzeń w przedziale wynosiła minimum pięć.

## 4. Analiza wyników badań

Badania dotyczyły następującej grupy pojazdów wg tab. 1.

**Tab. 1.** Wielkość grupy badanych pojazdów

Rodzaj pojazdów	Liczba zdarzeń (naprawa bieżąca)	Ilość pojazdów w badaniu
Osobowe	78	14
Dostawcze do 3,5 tony	47	5

Analizę wyników przeprowadzono w trzech obszarach:

1. Analiza parametrów niezawodnościowych w zależności od przebiegu i czasu między kolejnymi uszkodzeniami.
2. Analiza efektywności wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych (rzeczywisty czas naprawy w stosunku do całkowitego czasu postoju na stanowisku obsługowo-naprawczym).
3. Analiza zgodności empirycznych rozkładów niesprawności z rozkładami teoretycznymi testem chi kwadrat.

Dla badanych grup pojazdów w wyniku prowadzonych obliczeń uzyskano w odniesieniu do analizy nr 1 parametry, które wykorzystano do analizy statystycznej (samochody osobowe – tabela nr 2, samochody dostawcze – tabela nr 3).

**Tab. 2.** Parametry uszkodzeń samochodów osobowych

Parametr:	Wartość:	
Wartość średnia [x]	4158,2 [km]	78,5 [dni]
Odchylenie standardowe [δ]	4765,2 [km]	66,5 [dni]
Wartość maksymalna PMKU	25393 [km]	249 [dni]
Współczynnik intensywności zgłoszeń	0,00014 [1/km]	0,0127 [1/dzień]
Wartość graniczna PMKU wykorzystana do obliczeń (x+3δ)	18454,2 [km]	278,2 [dni]

**Tab. 3.** Parametry uszkodzeń samochodów dostawczych

Parametr:	Wartość:	
Wartość średnia [x]	8363,1 [km]	79,5 [dni]
Odchylenie standardowe [δ]	10362,4 [km]	98,7 [dni]
Wartość maksymalna PMKU	39450,2 [km]	331 [dni]
Współczynnik intensywności zgłoszeń	0,00012 [1/km]	0,0126 [1/dzień]
Wartość graniczna PMKU wykorzystana do obliczeń (x+3δ)	39450,2 [km]	375,5 [dni]

W odniesieniu do analizy nr 2 otrzymano następujące parametry, które wykorzystano do analizy statystycznej (samochody osobowe - tabela nr 4, samochody dostawcze – tabela nr 5):

**Tab. 4.** Parametry naprawy samochodów osobowych

Parametr:	Wartość:	
	Pracochłonność naprawy	Czas postoju na stanowisku
Wartość średnia [x]	9,7 [rbh]	27,0 [h]
Odchylenie standardowe [δ]	13,0 [rbh]	33,6 [h]
Wartość maksymalna PMKU	36,5 [rbh]	113,5 [h]
Współczynnik intensywności naprawy	0,103 [1/rbh]	0,037 [1/h]
Wartość graniczna PMKU do obliczeń (x+3δ)	48,7 [rbh]	127,7 [h]

**Tab. 5.** Parametry naprawy samochodów dostawczych

Parametr:	Wartość:	
	Pracochłonność naprawy	Całkowity czas postoju na stanowisku
Wartość średnia – $x_{sr}$	9,8 [rbh]	25,8 [h]
Odchylenie standardowe – δ	7,4 [rbh]	26,9 [h]
Wartość maksymalna PMKU	25,5 [rbh]	97,0 [h]
Współczynnik intensywności naprawy	0,103 [1/rbh]	0,037 [1/h]
Wartość graniczna PMKU wykorzystana do obliczeń (x+3δ)	32,0 [rbh]	106,4 [h]

Zgromadzenie danych eksploatacyjnych pozwoliło na uzyskanie graficznej prezentacji zależności i charakteru zdarzeń dotyczących użytkowania i obsługiwanego grupy pojazdów.

Określono maksymalny przedział wartości resursu (przebiegu) między uszkodzeniami dla obu grup pojazdów, który podzielono na dziesięć równych części. Następnie określono w zdefiniowanych przedziałach ilość zdarzeń polegających na wystąpieniu uszkodzenia pojazdu. Powyższą analizę wykonano dla przebiegu i czasu użytkowania zarówno dla samochodów osobowych, jak i dostawczych. Wyniki przedstawiono w tabelach nr 6 i 7 oraz graficznie na rysunku nr 7 i 8.

Prezentowane zestawienia pokazują, że większa ilość uszkodzeń występuje dla niższych wartości przedziałów przebiegu między uszkodzeniami zarówno dla samochodów osobowych i dostawczych. Należy zwrócić uwagę, że ilość uszkodzeń jest znacznie większa dla samochodów osobowych. W badaniu brała udział nierównoliczna grupa samochodów osobowych i dostawczych, co zostało pokazane w tabeli nr 1. Do właściwej oceny intensywności uszkodzeń konieczne jest uwzględnienie sumarycznego resursu każdej z grup pojazdów. W efekcie dane tabeli 2 i 3 wskazują zbliżoną intensywność uszkodzeń pojazdów. Pokazany jest ogólny trend w zakresie badanego zjawiska, który daje ogólny obraz procesów zachodzących w czasie użytkowania badanych grup pojazdów.

**Tab. 6.** Ilość niesprawności w funkcji przebiegu

Wartość przebiegu na początku przedziału [km]	Wartość przebiegu na końcu przedziału [km]	Ilość niesprawności - samochody osobowe	Ilość niesprawności - samochody dostawcze
0	2000	32	12
2000	4000	20	2
4000	6000	10	13
6000	7900	5	5
7900	9900	3	1
9900	11900	3	4
11900	13800	2	2
13800	15800	0	1
15800	17800	0	4
17800	19700	0	1

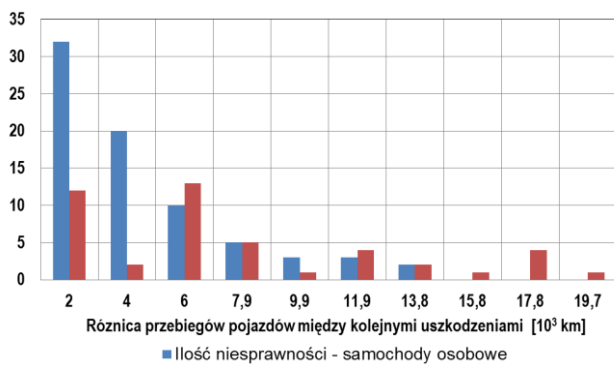
W powyższej tabeli zaprezentowano ilości uszkodzeń samochodów osobowych i dostawczych w zdefiniowanych przedziałach przebiegu między uszkodzeniami. Przedziały zdefiniowano identycznie dla obu grup pojazdów, aby bardziej precyzyjnie oddać trend występowania uszkodzeń w zależności od wartości przebiegu. W tabeli nr 7 dokonano podobnej analizy, uwzględniając czas między kolejnymi uszkodzeniami mierzony w dniach.

Na rysunku nr 4 i 5 zobrazowano graficznie wyniki zawarte w tabeli 6 i 7. Jednoznacznie można stwierdzić, że większość uszkodzeń występuje do wartości przebiegu między uszkodzeniami wynoszącej 8000 km lub 175 dni. Pozostałe wartości należałoby potraktować, jako nieistotne dla procesu uszkodzeń. Takie zobrazowanie zjawiska daje podstawy do formułowania wniosków w zakresie prognozowania występowania uszkodzeń. Jednak jest to jedynie graficzne odwzorowanie zaobserwowanych wyników.

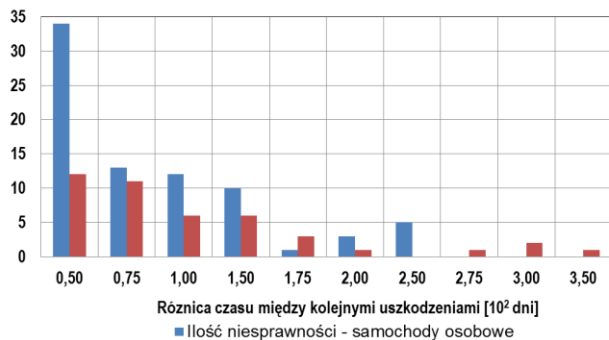
Tab. 7. Liczba niesprawności w funkcji czasu

Wartość przebiegu na początek przedziału [dni]	Wartość przebiegu na końcu przedziału [dni]	Ilość niesprawności - samochody osobowe	Ilość niesprawności - samochody dostawcze
0	50	34	12
50	75	13	11
75	100	12	6
100	150	10	6
150	175	1	3
175	200	3	1
200	250	5	0
250	275	0	1
275	300	0	2
300	350	0	1

W związku z tym należy poszukiwać innych metod analizy zdarzeń eksploatacyjnych. W analizie tej zostaną wykorzystane metody statystyczne obrazowania zdarzeń. Jako obiekt analizy będzie traktowane każde uszkodzenie, a nie określony pojazd.



Rys. 4. Liczba niesprawności w funkcji przebiegu [km]



Rys. 5. Liczba niesprawności w funkcji czasu [dni]

Poniżej przedstawiono wyniki analizy uszkodzeń w postaci empirycznych charakterystyk liczby zaistniałych i niezaistniałych uszkodzeń (obiektów niezdatnych i zdatnych) oraz empiryczną funkcję niezawodności  $R(t)$  i empiryczną funkcję zawodności  $Q(t)$ .

Przyjęto tu następujące oznaczenia:

- $n$  – liczba obiektów badanych;
  - $n(t)$  – liczba obiektów zdatnych w chwili  $t$ ,
  - $m(t)$  – liczba obiektów niezdatnych w chwili  $t$ ,
- gdzie:  $n = n(t) + m(t)$ .

Wówczas empiryczna funkcja niezawodności ma postać:

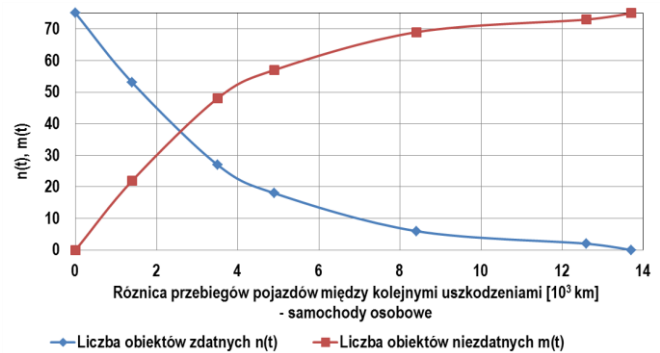
$$R(t) = \frac{n(t)}{n} = \frac{n - m(t)}{n} = 1 - \frac{m(t)}{n} \quad (16)$$

Empiryczna funkcja zawodności ma postać:

$$Q(t) = 1 - R(t) = \frac{m(t)}{n} = 1 - \frac{n(t)}{n} \quad (17)$$

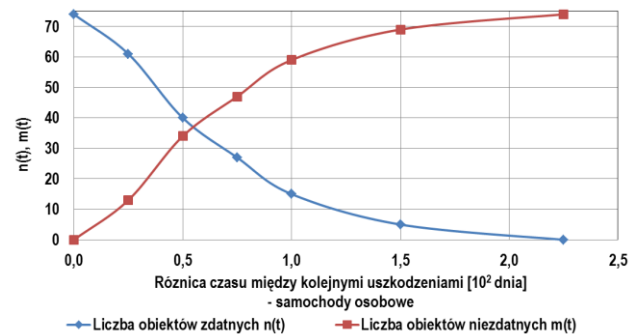
#### 4.1. Analiza zależności $n(t)$ i $m(t)$ w funkcji drogi i czasu

W odniesieniu do samochodów osobowych przebieg zależności liczby obiektów zdatnych i niezdatnych w funkcji resursu (przebiegu) między kolejnymi uszkodzeniami (PMKU) mierzonego w kilometrach wykres  $n(t)$  i  $m(t)$  ma postać przedstawioną na rysunku nr 6. Z wykresu jednoznacznie wynika, że około siedemdziesiąt pięć procent uszkodzeń następuje po przebyciu ponad czterech tysięcy kilometrów od ostatniego uszkodzenia.



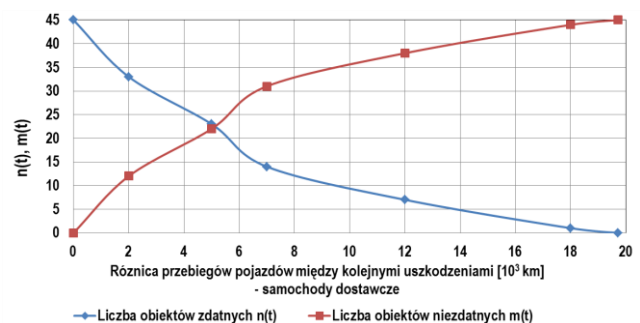
Rys. 6. Liczba obiektów zdatnych i niezdatnych w funkcji przebiegu

W odniesieniu do samochodów osobowych wykres zależności liczby obiektów zdatnych i niezdatnych ( $n(t)$  i  $m(t)$ ) od resursu między kolejnymi uszkodzeniami (PMKU) mierzonego w czasie (liczba dni) ma postać przedstawioną na rysunku nr 7. Z wykresu jednoznacznie wynika, że siedemdziesiąt pięć procent uszkodzeń następuje po około stu dniach użytkowania badanych obiektów.



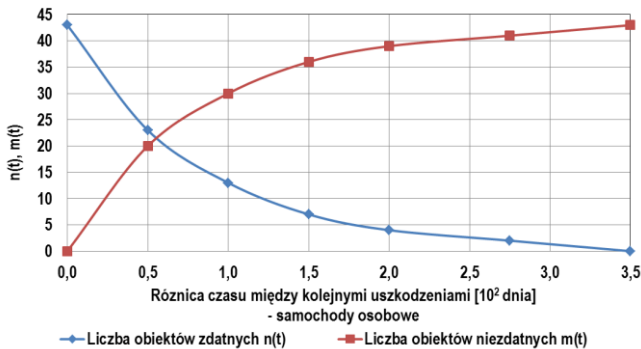
Rys. 7. Liczba obiektów zdatnych i niezdatnych w funkcji czasu

Podobną analizę wykonano dla samochodów dostawczych. W odniesieniu do liczby obiektów zdatnych i niezdatnych w funkcji resursu między kolejnymi uszkodzeniami (PMKU) mierzonego w kilometrach wykres  $n(t)$  i  $m(t)$ , ma postać przedstawioną na rysunku nr 8. Z wykresu wynika, że siedemdziesiąt pięć procent uszkodzeń następuje po przebyciu około ośmiu tysięcy kilometrów od ostatniego uszkodzenia.



Rys. 8. Liczba obiektów zdatnych i niezdatnych w funkcji przebiegu

Ostatni wykres dotyczący analizy zależności między ilością obiektów sprawnych i niesprawnych (uszkodzeń niezastnialych i zastnialych) potwierdza charakter poprzednich zależności. Z wykresu wynika, że siedemdziesiąt pięć procent uszkodzeń następuje po około stu dniach użytkowania badanych obiektów (rysunek 9). Podobnie jak dla samochodów osobowych.

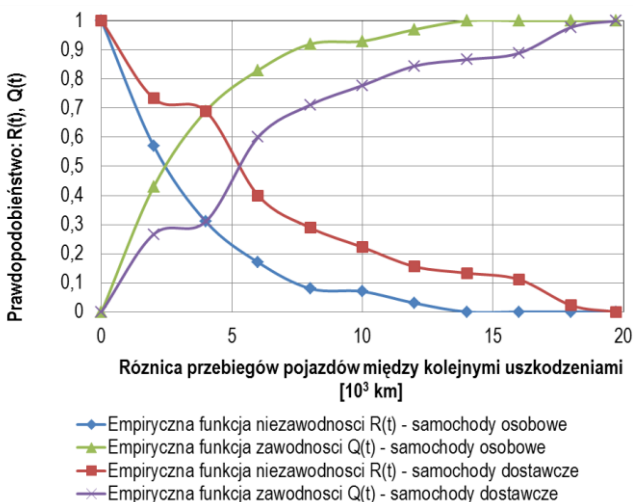


Rys. 9. Liczba obiektów zdalnych i niezadnych w funkcji czasu

Podsumowując powyższą analizę dotyczącą zależności między ilością samochodów sprawnych i niesprawnych w funkcji resursu między naprawami mierzonego w kilometrach lub w funkcji czasu (liczba dni), należy zwrócić uwagę na fakt, że ilość uszkodzeń pojazdów zarówno osobowych i dostawczych zbliża się do poziomu 75 procent po upływie około 100 dni. Natomiast w stosunku do resursu mierzonego w kilometrach 75 procent niesprawności samochodów dostawczych następuje po dwukrotnie większym zużyciu resursu w stosunku do samochodów osobowych.

#### 4.2. Badanie zależności: $R(t)$ i $Q(t)$

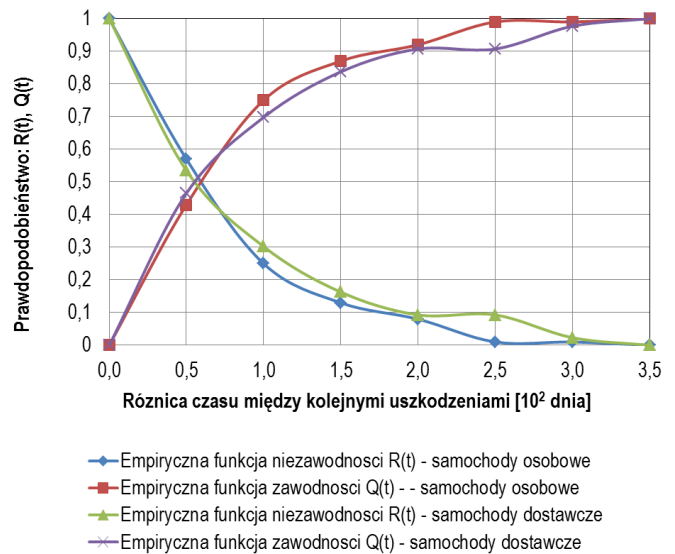
Analiza zależności liczby obiektów niezadnych i zdalnych pozwoliła wyznaczyć funkcje zawodności i niezawodności, zarówno dla zużywanego resursu wyrażonego w kilometrach i czasie (liczba dni między kolejnymi uszkodzeniami). Ma ona postać graficzną przedstawioną na rysunku 10.



Rys. 10. Przebieg funkcji  $R(t)$  i  $Q(t)$  badanych samochodów

Powyższa zależność pokazuje, że prawdopodobieństwo wystąpienia niesprawności obiektów na poziomie 75 procent następuje przy wartości zużycia resursu mierzonego w kilometrach między kolejnymi naprawami i wynosi około 4500 km dla samochodów osobowych. Dla samochodów dostawczych wynosi około 8000 km. Przesunięcie wynosi około 3500 km. Świadczy to o większej awaryjności samochodów osobowych.

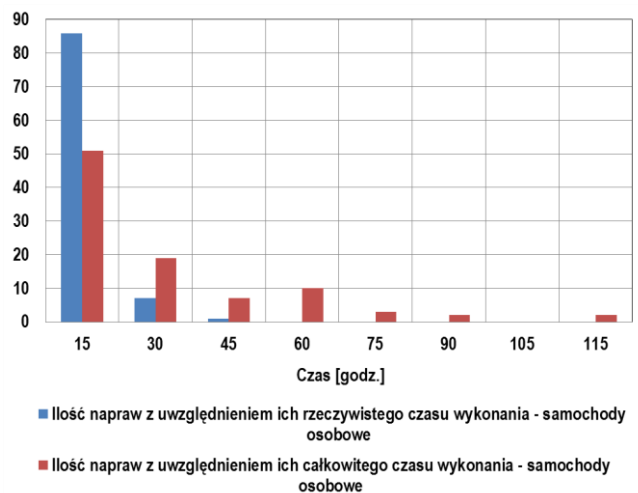
Na rysunku nr 11 przedstawiono charakterystyki jak na rysunku 10, ale w funkcji zużycia resursu między naprawami mierzonego w czasie (liczba dni). W tym przypadku 75 procent niesprawności następuje po upływie około 100 dni użytkowania zarówno dla samochodów osobowych jak i dostawczych.



Rys. 11. Przebieg funkcji  $R(t)$  i  $Q(t)$  samochodów w funkcji czasu

#### 4.3. Badanie wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych

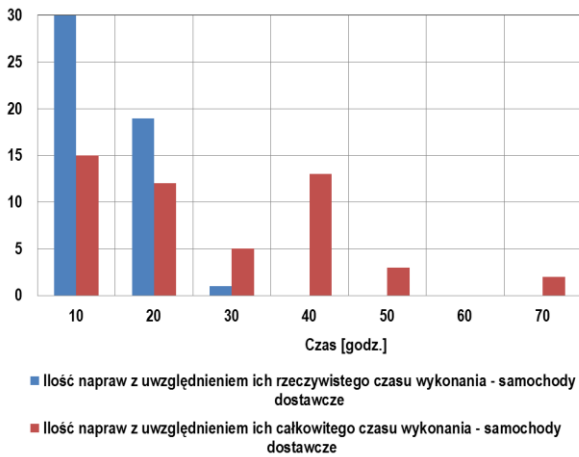
Jednym z zadań prowadzonego badania było określenie efektywności wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych bazy obsługowej wykonującej obsługiwania i naprawy analizowanych obiektów technicznych. Do tej oceny posłużono się porównaniem dwóch wartości: ilości roboczogodzin wykonanych w czasie pojedynczej naprawy i całkowitego czasu postoju w serwisie na stanowisku obsługowo-naprawczym. Wykonując porównanie dla określonej wartości czasów napraw uzyskano wyniki, które przedstawiono na poniższych wykresach (rysunek 12 i 13):



Rys. 12. Porównanie ilości roboczogodzin i całkowitego czasu postoju obiektu w serwisie – samochody osobowe

Powyższe wykresy pokazują, że większość napraw wymaga nakładu roboczogodzin (rbh) w przedziale od 20 do 30 rbh. Wykres pokazuje, że jest znaczna ilość napraw, których czas postoju w serwisie przewyższa wartość 30 h. Jednoznaczny jest wniosek, że część napraw nie wymaga tak długiego postoju w stacji obsługi pojazdów. Zatem zasadne byłoby wykonanie analizy przyczyn takiego stanu. Czynniki, które mogą decydować o tym w aspekcie

funkcjonowania stacji obsługowo-naprawczej i systemu logistycznego zabezpieczającego funkcjonowanie stacji serwisowej to: kwalifikacje personelu, zabezpieczenie w części zamienne, obieg dokumentów księgowych. Jest to obszar wymagający oddzielnej analizy.



Rys. 13. Porównanie ilości roboczogodzin do całkowitego czasu postoju obiektu w serwisie – samochody dostawcze

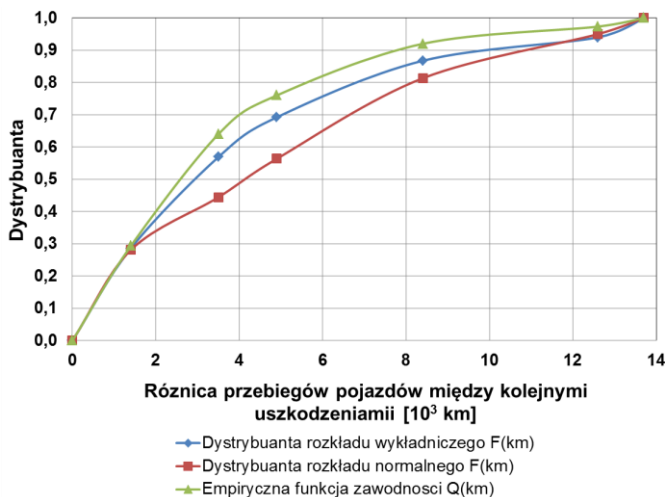
4.4. Badania testem chi kwadrat zgodności empirycznych rozkładów niesprawności z rozkładami teoretycznymi

Ostatnią częścią badań było określenie charakteru występowania uszkodzeń w analizowanej grupie obiektów technicznych. W tym celu zbudowano rozkłady empiryczne. Przekształcono je do postaci spełniającej wymogi badania testem chi kwadrat. Określono wartości dystrybuant i wartości oczekiwane dla badanych przedziałów. Określono sumaryczną wartość odchylen względnych (parametr chi kwadrat) i porównano ją z tablicową wartością testu chi kwadrat dla danego poziomu istotności i wskazanej ilości stopni swobody.

Po zbadaniu zgodność rozkładu empirycznego z rozkładem wykładniczym i normalnym, w przypadku samochodów osobowych dla resursu wyrażonego w kilometrach, uzyskano wyniki przedstawione w tabeli 8 i na rysunku 14.

Tab. 8. Wynik testu chi kwadrat

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody osobowe (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 6)			
3,8	12,59	24,3	12,59



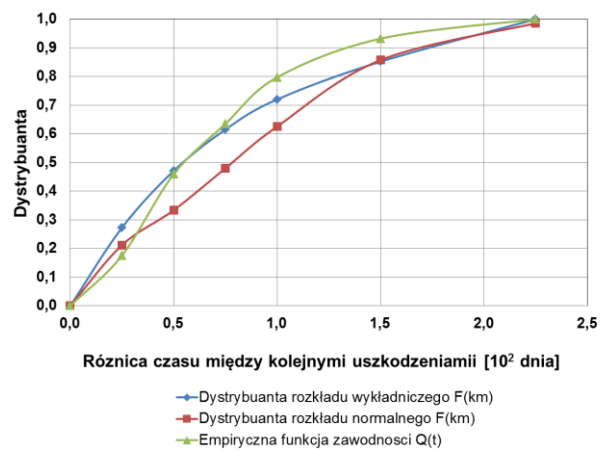
Rys. 14. Dystrybuanta uszkodzeń dla samochodów osobowych i resursu wyrażonego w kilometrach

Zatem, według kryteriów zawartych w tabeli nr 8, można stwierdzić, że w przypadku badanej grupy samochodów osobowych dla resursu mierzonego w kilometrach, empiryczny rozkład uszkodzeń może być odwzorowany rozkładem wykładniczym.

Podobne badanie przeprowadzono dla PMKU mierzonego, jako czas (dni). Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 9 i na rys. 15. Można stwierdzić, że w przypadku badanej grupy samochodów, w odniesieniu do PMKU mierzonego czasem (liczba dni) empiryczny rozkład uszkodzeń może być odwzorowany rozkładem wykładniczym – według kryteriów zawartych w tabeli 9.

Tab. 9. Wynik testu chi kwadrat

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa
Samochody osobowe (Poziom istotności $p=0,05$ , Ilość stopni swobody - 6)			
10,13	12,59	28,26	12,59

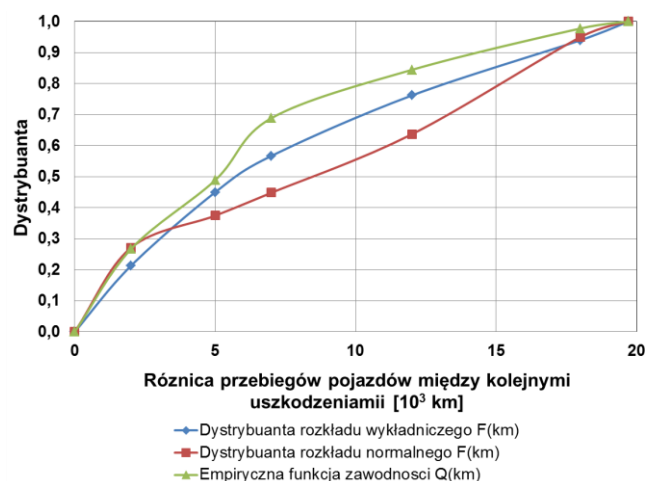


Rys. 15. Dystrybuanta uszkodzeń dla samochodów osobowych – resurs w dniach

Badania zgodności rozkładów wykonano również dla samochodów dostawczych. Rezultaty przedstawiono na rys. 16 i w tabeli 10.

Tab. 10. Wynik testu chi kwadrat

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody dostawcze (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
3,72	12,59	17,1	12,59



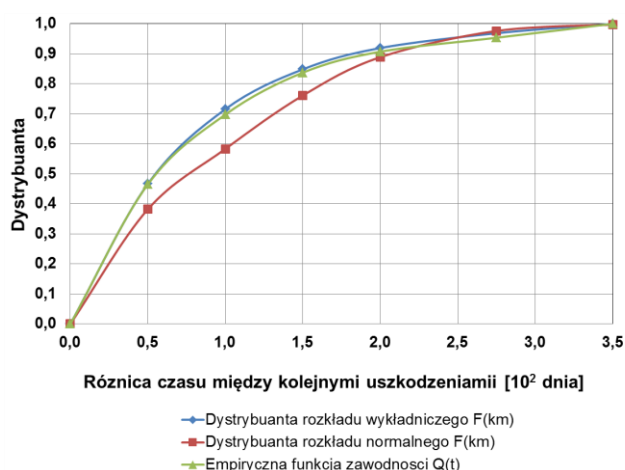
Rys. 16. Dystrybuanta uszkodzeń dla samochodów dostawczych – resurs wyrażony w kilometrach

W wyniku wykonanych obliczeń można stwierdzić, że w przypadku badanej grupy samochodów w odniesieniu do badania prowadzonego dla PMKU mierzonego w kilometrach wynika, że według kryteriów zawartych w tabeli nr 10, empiryczny rozkład uszkodzeń może być odwzorowany rozkładem wykładniczym

Badanie porównawcze wykonano również dla samochodów dostawczych w odniesieniu do analizy zużycia ресурсu między naprawami mierzonego w funkcji czasu (dni). W tym przypadku okazało się, że rozkład empiryczny może być odwzorowany zarówno rozkładem wykładniczym, jak i rozkładem normalnym. Zostało to przedstawione w formie graficznej (rys. 17) oraz w formie tabelarycznej (tab. 11).

**Tab. 11.** Wynik testu chi kwadrat

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody dostawcze (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
1,97	12,59	4,37	12,59



**Rys. 17.** Dystrybuanta w odniesieniu do samochodów dostawczych – resurs w dniach

## Podsumowanie

Z uwagi na brak elektronicznych danych historycznych dotyczących eksploatacji pojazdów przygotowanie danych do wykonania analizy było procesem bardzo czasochłonnym. Efektem tego było ograniczenie analizy do kilkunastu pojazdów oraz kilkudziesięciu zdarzeń eksploatacyjnych.

Przygotowanie arkusza kalkulacyjnego działającego automatycznie ułatwia przetwarzanie danych. Należy dążyć do jego rozbudowania i rozwijania o możliwość badania dalszych parametrów. Takie możliwości daje środowisko MS Excel. Arkusz daje możliwości wykorzystania uniwersalnego.

Należy zauważyć, że niesprawności pojazdów między kolejnymi uszkodzeniami mają w zdecydowanej większości przypadków rozkład wykładniczy, który można przyjąć do przewidywania uszkodzeń eksploatacyjnych.

Przeprowadzona analiza pokazała, że mimo ograniczonego dostępu do danych możliwe jest stwierdzenie charakteru uszkodzeń. Nasuwa się wniosek, że dokładność analizy wzrasta wraz z poszerzeniem ilości zdarzeń. Zatem, budowanie lokalnych baz danych eksploatacyjnych i przekazywanie ich do ośrodków, które mogłyby wykorzystać je do analizy w zakresie przewidywania dalszej eksploatacji sprzętu, wykorzystanie floty pojazdów w zakresie wykonania zadań transportowych na dużych odległościach itd. Miałoby to duży wpływ również na poprawę procesów planistycznych, np. wykony-

wanie dokumentacji planistycznej w zakresie wykorzystania warsztatów (np. planowanie w zakresie wykorzystania stacji obsługowo-naprawczych – znając średnie zużycie ресурсu w czasie jednego roku oraz charakterystykę rozkładu uszkodzeń, możemy ze zwiększonym prawdopodobieństwem przewidywać wystąpienie awarii, a tym samym przewidywać obciążenie warsztatów).

Powyższa analiza mogłaby również zostać wykorzystana do badania zdarzeń eksploatacyjnych w odniesieniu do pojedynczych podzespołów pojazdów, czyli części zamiennych). Jeżeli założymy, że duża flota pojazdów jest obsługiwana w określonych punktach serwisowych, a wspomniane miejsca przekazują dane do ośrodka analitycznego, to mogłoby to w konsekwencji dać również efekt w postaci optymalizacji poziomu zapasów części zamiennych. Taka optymalizacja byłaby szczególnie przydatna w kontekście przedsiębiorstw objętych ustawą „Prawo zamówień publicznych”. W tych przedsiębiorstwach często dochodzi do znaczącego wydłużenia terminu dostawy z uwagi na skomplikowane pozaplanowe procedury zakupowe. Innym przykładem zastosowania może być przygotowywanie zestawu (pakietu) części zamiennych dla sprzętu wysyłanego do udziału w wojskowych misjach zagranicznych w dalekich odległościach od bazy zaopatrzeniowej, tzw. zestawów remontowych.

## Bibliografia

1. Drelichowski L., Bojar W., Żółtowski M., Elementy zarządzania eksploatacją maszyn. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2012.
2. Duffuaa Salih O., Raoff A., Campbell John D. Planning and control of maintenance systems. John Wiley & Sons, New York 1999.
3. Gluszkowski T., Jabłońska M., Prognozowanie i analiza sprzedaży. Modele w Excelu. Wydawnictwo 4tg. Łódź 2008.
4. Katalog norm eksploatacji techniki lądowej. DU-4.22.13.1 – Załącznik do decyzji Nr 69 /Log./P4 z dnia 30 października 2014.
5. Macha E., Niezawodność maszyn. Politechnika Opolska, Opole 2001.

## Research of exploitation failure characteristics of wheeled vehicles

The article is dedicated to utilization of cars and small buses. It includes three parts. In the first one authors consider general rules regarding creating equipment utilization data bases and how it may be used regarding reliability methods. There is mentioned that it is crucial regarding optimization of all processes in enterprises. In the second part there are presented some results regarding exploitation of technical objects. The results are much more interested because same mathematical and statistical methods were used to present them in the article. The third part is conclusion regarding all methods and results received during analysis.

**Keywords:** failure, reliability, exploitation.

Autorzy:

**dr hab. inż. Józef Pszczółkowski**, prof. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Mechaniczny: 01-476 Warszawa: gen. Witolda Urbanowicza 2. tel. 261 837 206, email: jozef.pszczolkowski@wat.edu.pl

**ppłk mgr inż. Tomasz Goliasz** – Ministerstwo Obrony Narodowej: 00-608 Warszawa: Aleja Niepodległości 218, tel. 736-941-991, tgoliasz@mon.gov.pl.