

Maksymilian Smolnik, Grzegorz Wiązania, Jan Szybka

Koncepcja oceny systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej

W artykule przedstawiono koncepcję przeprowadzania oceny systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej. Zaproponowano wskaźniki i charakterystyki związane z oceną niezawodności eksploatowanych pojazdów. Wyznaczenie ich wartości wymaga zebrania dodatkowych informacji, które – gromadzone w bazach danych – ułatwią podejmowanie decyzji zarówno w zakresie oceniania stanu technicznego eksploatowanych pojazdów, jak przygotowania technicznego zaplecza remontowego, planowania zaopatrzenia w części wymienne i materiały eksploatacyjne.

Wstęp

Komunikacja miejska stanowi istotny element systemu transportowego w dużych aglomeracjach miejskich. Poprawnie funkcjonująca pełni ważną rolę ze względów społecznych i ekologicznych. Koszty jej utrzymania nie zawsze są rekompensowane przez wpływ z opłat pasażerów za przejazdy i stąd w pełni uzasadnione jest poszukiwanie skutecznych metod obniżania kosztów eksploatacji.

W artykule przedstawiono charakterystyki i wskaźniki eksploatacyjne, których wyznaczenie i kontrola zmian wartości w trakcie eksploatacji świadczą o poprawności przebiegu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej. Zmiany ich wartości sygnalizują potrzebę podjęcia niezbędnych działań technicznych, prowadzących do racjonalnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego, zarówno w zakresie użytkowania, jak i obsługiwanego pojazdów.

Wyznaczenie wartości wskaźników warunkowane jest informacją uzyskiwaną z obserwacji funkcjonowania systemu eksploatacji i stąd wynika potrzeba budowy dobrze zorganizowanych baz danych. W artykule przedstawiono fragment systemu zbierania danych, który jest wykorzystywany w budowie tych baz.

Kolejne badania i analizy będą zmierzały do wykorzystania zaproponowanych wskaźników w optymalizacji systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej w celu obniżenia kosztów ich utrzymania.

Charakterystyka systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej

System eksploatacji umożliwia wykorzystywanie obiektów technicznych w odpowiedzi na stawiane wymagania odnośnie do usług w komunikacji miejskiej [1]. Aby funkcjonowanie systemu mogło zachodzić poprawnie, procesy użytkowania i obsługiwanego muszą być realizowane – w ramach przyjętej organizacji eksploatacji – zgodnie z określonymi zasadami. Jednocześnie sam system eksploatacji wymaga zaopatrzenia w odpowiednie środki, umożliwiające jego funkcjonowanie, które dostarczane są w określonej formie i we właściwym czasie.

Z uwagi na ograniczoną niezawodność systemu i powiązane z nią ryzyko zakłócenia jego funkcjonowania, skutkujące niewykonaniem

zleceń, struktura organizacji systemu może zawierać szereg relacji pozwalających na kontrolę i zabezpieczenie realizacji zadań.

System eksploatacji środków transportu, jako podsystem całego systemu transportu zbiorowego, umożliwia użytkowanie i obsługę wykorzystywanych pojazdów. Składa się on zatem z jednostek przedsiębiorstwa transportowego, odpowiedzialnych za użytkowanie i obsługę pojazdów (podsystemów). Jednostki te powiązane są ze sobą relacjami występującymi w ramach systemu eksploatacji środków transportu oraz kolejnymi relacjami – z innymi jednostkami występującymi w otoczeniu tego systemu.

Ograniczenie narzucone na funkcjonowanie systemu eksploatacji środków transportu zbiorowego związane jest z kosztem realizacji procesu eksploatacji. Sprzeczne oczekiwania odnośnie do pracy systemu przejawiają się w żądaniu świadczenia wysokiej jakości usług przy możliwie niskich kosztach funkcjonowania systemu [1]. Stan ten znajduje swoje odzwierciedlenie w ograniczeniach dotyczących:

- ♦ liczby i stanu technicznego eksploatowanych pojazdów,
- ♦ wielkości i stanu technicznego wykorzystywanego zaplecza,
- ♦ dostępności części wymiennych i materiałów eksploatacyjnych,
- ♦ liczby pracowników zaangażowanych w proces eksploatacji.

Analiza funkcjonowania i ocena systemu eksploatacji mogą stanowić podstawę do racjonalnego ograniczania kosztów użytkowania i obsługiwanego pojazdów.

System eksploatacji środków transportu ulega w czasie zmianom dotyczącym w szczególności jego elementów. Przekształcanie systemu związane jest ze zmieniającymi się stawianymi mu zadaniami oraz wymianą wykorzystywanych środków technicznych. Powyższe zmiany winny być przeprowadzane w sposób przemyślany z uwagi na: duże znaczenie systemu eksploatacji środków transportu dla pracy systemu transportowego, złożoność organizacji pracy w jednostkach przedsiębiorstwa transportowego, skomplikowane zależności towarzyszące współpracy systemu eksploatacji z jego otoczeniem oraz charakter sterowania procesem eksploatacji pojazdów.

System eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej winien:

- ❖ zapewniać poprawną pracę pojazdów wykorzystywanych do realizacji zadań transportowych,
- ❖ być dostosowany do wymagań odnośnie do świadczonych usług transportowych,
- ❖ zapewniać należyty przepływ informacji w jego obrębie oraz właściwą wymianę informacji pomiędzy nim samym i jego otoczeniem.

Metodyka zbierania i przetwarzania informacji o eksploatacji wybranych środków transportu

Procedurę oceny systemu eksploatacji na podstawie wskaźników niezawodnościowych (stanowiącą podstawę do sterowania systemem) przedstawiono za pomocą schematu blokowego na rysunku 1, wykreślonego na podstawie niektórych informacji zawartych w [7].

Informacje uzyskiwane podczas badań eksploatacyjnych gromadzone są w odpowiedniej bazie danych w celu ich przechowywania i późniejszego wykorzystywania. Na ich podstawie wyznaczane mogą być wartości wskaźników niezawodnościowych, w sposób ilościowy charakteryzujących pracę eksploatowanych obiektów technicznych. Porównanie bieżących wartości wskaźników z wartościami uzyskanymi w czasie poprzedniego badania umożliwia analizę zmian sposobu pracy obiektów. Uzyskana tą drogą wiedza pozwala na ocenę systemu eksploatacji i podejmowanie decyzji mających bezpośredni wpływ na jego dalsze funkcjonowanie. Skutki podjętych decyzji zostaną zweryfikowane podczas kolejnych badań eksploatacyjnych i wyznaczania nowych wartości wskaźników niezawodnościowych. Będą one świadczyły o podjęciu trafnej (sprzyjającej lepszemu funkcjonowaniu systemu) albo błędnej (prowadzącej do gorszego funkcjonowania systemu) decyzji [7].

Decyzje odnośnie do dalszego funkcjonowania systemu eksploatacji, podejmowane na podstawie przeprowadzonej oceny, mogą dotyczyć (między innymi):

- ❖ remontów i wymian (odnowy) eksploatowanych środków transportu,
- ❖ odnowy albo likwidacji infrastruktury, maszyn i narzędzi wykorzystywanych przy obsłudze eksploatowanych pojazdów,
- ❖ zmian organizacji pracy w stacji obsługi,
- ❖ zmian sposobu zaopatrywania stacji obsługi.

Zależnie od przyjętego sposobu analizy niezawodności eksploatowanych obiektów technicznych możliwe jest wyznaczanie różnych wskaźników niezawodnościowych. Zgodnie z informacją zawartą w opracowaniu [7] istotne kryterium klasyfikacji wskaźników stanowi założenie odnośnie do odnawialności badanych obiektów.

Ostatecznie od doborze rodzajów wyznaczanych wskaźników decyduje badacz na podstawie swej wiedzy o analizowanym systemie (systemach) eksploatacji i samych wskaźnikach niezawodnościowych. Przykłady metod doboru wskaźników zawarto w pozycji [6].

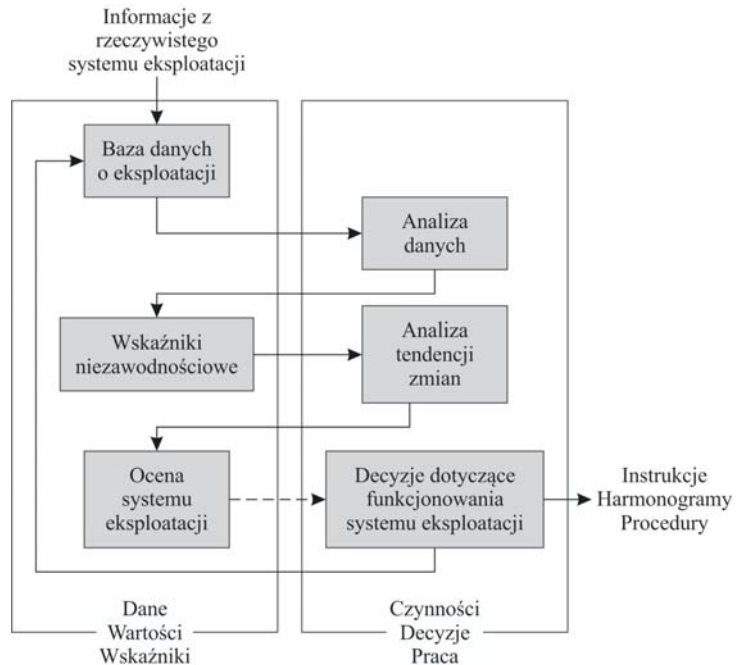
Przedstawiona w opracowaniu [5] metodyka wyznaczania wartości wskaźników niezawodnościowych na podstawie wyników badań trwałości wybranych zespołów pojazdów (czasów trwania ich eksploatacji do wystąpienia uszkodzenia) pozwala na określenie m.in.:

- ◆ funkcji niezawodności $R(t)$,
- ◆ dystrybuanty $F(t)$,
- ◆ funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa $f(t)$,
- ◆ funkcji intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$,
- ◆ wartości oczekiwanej czasu pracy do uszkodzenia $E(t)$.

Pierwsze cztery wskaźniki zaliczane są do grupy wskaźników funkcyjnych, nazywanych również charakterystykami niezawodności. Obok wskaźników funkcyjnych wyróżnić można wskaźniki liczbowe [7]. Do tej grupy zakwalifikować można poniższe wskaźniki:

- gotowość,
- niezawodność operacyjną,
- gotowość operacyjną,
- awaryjność,
- zawodność bezpieczeństwa,
- względną liczbę uszkodzeń,
- względną zawodność bezpieczeństwa.

Oprócz wyżej przedstawionych wskaźników w bieżącej kontroli niezawodności funkcjonowania systemu eksploatacji istotną rolę odgrywa parametr strumienia uszkodzeń. Przebieg jego empi-



Rys. 1. Schemat blokowy zawierający czynności podejmowane przy ocenie systemu eksploatacji [7]

rycznej wartości może być ceną wskazówką dla decydentów nadzorujących funkcjonowanie systemu.

$$\Lambda^*(t) = \frac{n'_{\Delta t}}{n_0 \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Teoretycznie opisywany jest zależnością

$$\Lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t, t + \Delta t) + P_{>1}(t, t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

W powyższych wzorach:

- $n'_{\Delta t}$ – liczba obiektów technicznych uszkodzonych pierwszy lub kolejny raz w przedziale czasu Δt ,
- n_0 – liczba badanych obiektów technicznych,
- Δt – dyskretyzacja czasu badań,
- $P_1(t, t + \Delta t)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia jednego uszkodzenia w czasie $t \div (t + \Delta t)$,
- $P_{>1}(t, t + \Delta t)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia większej liczby uszkodzeń w czasie $t \div (t + \Delta t)$.

Dotychczasowe rozważania wskazują na duże znaczenie właściwie zorganizowanej i aktualizowanej bazy danych, zawierającej informacje o pracy systemu eksploatacji, dla podejmowania decyzji dotyczących tego systemu. Może mieć ona różnorodny charakter.

W przypadku indywidualnego użytkownika pojedynczego pojazdu dopuszczalnym rozwiązaniem może okazać się wiedza o stanie technicznym środka transportu, którą dysponuje jego właściciel, oraz pamięć o zmianach tego stanu, które miały miejsce w wyniku określonych zdarzeń w przeszłości. W przypadku systemu eksploatacji obejmującego większą liczbę pojazdów, środków technicznych do ich obsługi oraz osób zaangażowanych w ich użytkowanie i obsługiwanie wymieniony sposób gromadzenia i przetwarzania informacji nie może zostać uznany za dost-

teczny. Wprowadzona zostaje zatem baza danych oparta o naturalne lub elektroniczne nośniki informacji [6].

Informacje istotne w procesie eksploatacji środków transportu stanowią (między innymi) dane [6]: o okresach pracy i postoju, o chwilach występowania i zakresach uszkodzeń, o okresach realizacji i zakresach odnow oraz o stwierdzonych skutkach i przyczynach awarii.

Informacje w bazie danych dotyczą poszczególnych pojazdów oraz określonych zdarzeń występujących w procesie ich eksploatacji. Wprowadzenie w przedsiębiorstwie wewnętrznych oznaczeń, różnych dla poszczególnych pojazdów, umożliwia ich łatwą reprezentację w bazie danych. Poniżej przedstawiono przykładową tabelę mogącą posłużyć do gromadzenia informacji odnośnie do jednego pojazdu (jako część kompletnej bazy danych).

W tabeli 1 do określania chwil wystąpienia konkretnych zdarzeń w czasie eksploatacji pojazdu wykorzystywane są ich daty oraz towarzyszące im wartości przebiegu pojazdu. W kolumnie „Opis zdarzenia” konieczne jest zamieszczanie informacji o wszelkich przypadkach zmiany stanu niezawodnościowego i eksploatacyjnego pojazdu wraz z dodatkowymi uwagami na temat ich okoliczności. Kolumny „Skutki” i „Przyczyny” przeznaczone są do zapisywania informacji o występujących konsekwencjach i stwierdzonych przyczynach zaistniałych zdarzeń, a kolumna „Uwagi” zapewnia miejsce na zapis zaleceń odnośnie do dalszego eksploataowania pojazdu lub opis przeprowadzonych prac obsługowych.

Powyższe podejście pozwala na zapisywanie pełnych historii eksploatacji poszczególnych pojazdów, może jednak utrudniać późniejszą analizę ogółu uszkodzeń dotyczących wszystkich środków transportu. Analiza tego rodzaju będzie łatwiejsza do przeprowadzenia, gdy każdemu z odnotowywanych zdarzeń przypisane zostanie indywidualne oznaczenie. Poniżej zamieszczono przykładową tabelę, mogącą posłużyć do gromadzenia informacji odnośnie do wszystkich eksploatowanych pojazdów z wykorzystaniem oznaczeń (kodów) poszczególnych zdarzeń.

W przypadku zastosowania takiego podejścia trudność sprawia zapisanie informacji o wystąpieniu zdarzenia, którego nie przewiduje dotychczasowa klasyfikacja i nie zostało mu przydzielone stosowne oznaczenie, na przykład: wcześniej niespotykanego rodzaju awarii. Informacje gromadzone są również w sposób tak szczegółowy, jak zostało to początkowo ustalone (określono liczbę oznaczeń i rodzaje odnotowywanych zdarzeń). Zapis zdarzeń wyłącznie za pomocą przyjętych oznaczeń nie uwzględni indywidualnych okoliczności towarzyszących ich występowaniu.

Istniejące relacje pomiędzy systemem eksploatacji a systemem organizacji przewozów i systemem zaopatrzenia stanowią przesłankę ku temu, aby w bazie danych znajdowały się nie tylko informacje bezpośrednio związane z systemem eksploatacji, ale również dotyczące jego wpływu na własne otoczenie, na przykład: wykorzystanie części wymiennych lub koszt realizacji wykonywanych prac.

Z uwagi na charakter systemu eksploatacji pojazdów komunikacji miejskiej (na przykład: dużą liczbę osób zaangażowanych w proces eksploatacji) wprowadzanie danych bezpośrednio do zbiorczej bazy danych mogłoby pozostawać utrudnione. Sprzyjałoby ono również występowaniu błędów lub nieścisłości i utrudniałoby ich weryfikację. Z tego względu zastosowanie mogą znaleźć dodatkowe dokumenty wewnętrzne przedsiębiorstwa transportowego – karty do gromadzenia informacji, których przykłady przedstawiono w opracowaniu [7]. Wykorzystywane formularze mogą być przeznaczone do odnotowywania informacji o:

Tab. 1. Arkusz do gromadzenia informacji o eksploatacji pojedynczego pojazdu

Informacje identyfikacyjne pojazdu					
Oznaczenie pojazdu		Typ pojazdu	Znak przedsiębiorstwa		
Informacje o zdarzeniach eksploatacyjnych					
Lp.	Data / Przebieg	Opis zdarzenia	Skutki	Przyczyny	Uwagi
1					
2					
...					

Tab. 2. Arkusz do gromadzenia informacji o eksploatacji wszystkich pojazdów

Znak przedsiębiorstwa						
Lp.	Oznaczenie pojazdu	Data / Przebieg	Oznaczenie zdarzenia	Skutki	Przyczyny	Uwagi
1						
2						
...						

symptomach awarii, aktualnych stanach niezawodnościowych lub eksploatacyjnych pojazdów itp.

Zgromadzone w dłuższym horyzoncie czasowym informacje mogą stanowić podstawę do opracowania w przedsiębiorstwie wewnętrznych zaleceń dotyczących harmonogramu obsługi pojazdów i ich szczegółowych zakresów. Jak wspomniano wcześniej, są one również niezbędne do poprawnego, bieżącego sterowania funkcjonowaniem systemu eksploatacji na podstawie przeprowadzanych ocen jego pracy (których podstawę stanowią wyznaczane wskaźniki niezawodnościowe).

Prognozowanie eksploatacji związane jest z oszacowaniami rozkładów prawdopodobieństwa występowania zdarzeń informujących o stanie technicznym badanych obiektów. Weryfikację zgodności rozkładów empirycznych z teoretycznymi przeprowadza się zgodnie z testami statystycznymi.

Poniżej przedstawiono procedurę wyznaczania parametrów rozkładów na podstawie danych zgromadzonych w trakcie badań eksploatacyjnych.

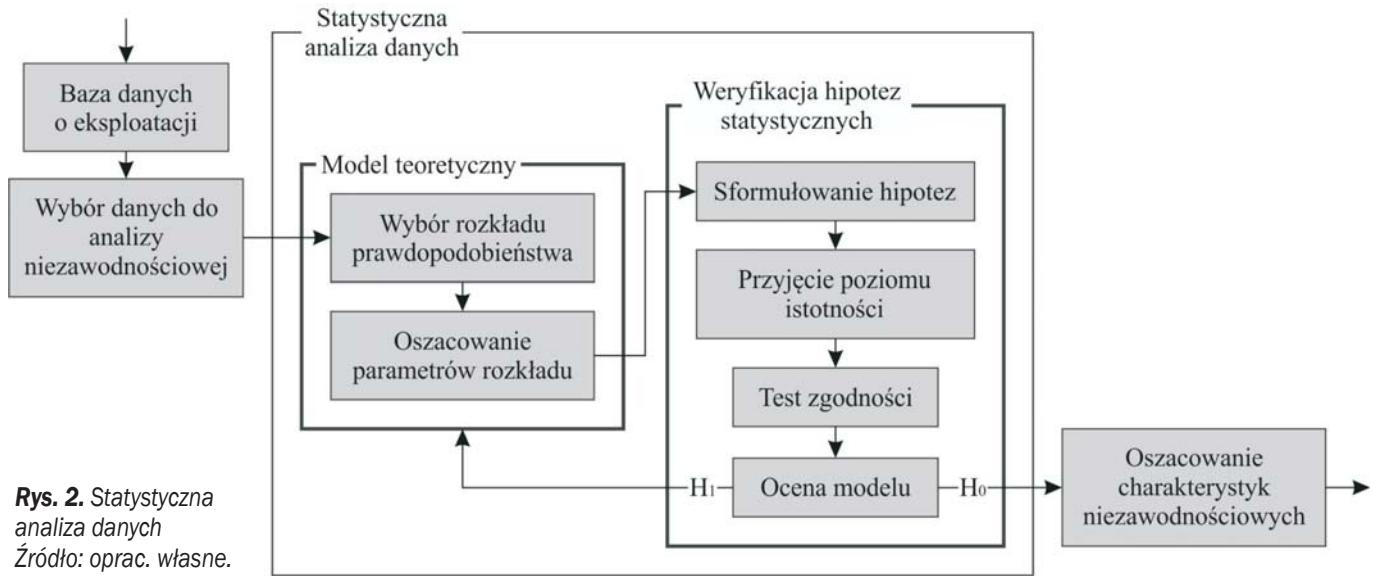
Statystyczna ocena niezawodności

Dysponując określoną bazą danych o systemie eksploatacji obiektów technicznych, można wyznaczyć charakteryzujące je wskaźniki niezawodnościowe. Dane te są najczęściej opisywane przez jeden z kilku podstawowych rozkładów prawdopodobieństwa. Znając parametry wybranego rozkładu oraz korzystając z odpowiednich zależności, można wyznaczyć wskaźniki niezawodnościowe. Realizacja tego zadania wymaga statystycznej analizy danych. Analizę taką można podzielić na dwa główne etapy zobrażowane na rysunku 2. Pierwszym z nich jest opracowanie modelu teoretycznego najlepiej opisującego dane. Drugim etapem jest weryfikacja hipotezy o poprawnym opracowaniu tego modelu.

W skład modelu teoretycznego opisującego zmienność danych wchodzi rozkład prawdopodobieństwa oraz oszacowanie jego parametrów. W niezawodności najczęściej wykorzystywane są rozkłady: wykładniczy, Weibulla, gamma i normalny. Wybór najlepszego może ułatwić utworzenie histogramu oraz wykresu kwantyl-kwantyl.

Problemem oszacowania parametrów rozkładu zajmuje się teoria estymacji. Jedną z metod otrzymywania estymatorów jest metoda największej wiarygodności, która polega na takim doborze parametrów rozkładu θ , aby funkcja wiarygodności $L(\theta)$ osiągnęła maksimum. Funkcję wiarygodności można wyznaczyć ze wzoru (3).

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (3)$$



Rys. 2. Statystyczna analiza danych
Źródło: oprac. własne.

Drugą metodą, zastosowaną do weryfikacji parametrów rozkładu Weibulla, była metoda przedstawiona w literaturze [5]. Polega ona na rozwiązaniu układu równań (4), gdzie n jest liczbą danych, i kolejną daną, a δ oraz θ są parametrami rozkładu.

$$\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \ln \ln \frac{1}{1-h(x_i)} = \delta \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \ln x_i - \frac{n}{2} \ln \theta$$

$$\sum_{i=\frac{n}{2}}^n \ln \ln \frac{1}{1-h(x_i)} = \delta \sum_{i=\frac{n}{2}}^n \ln x_i - \left(n - \frac{n}{2}\right) \ln \theta \quad (4)$$

$$h(x_i) = \frac{i-0,5}{n}$$

Model teoretyczny należy poddać weryfikacji, która polega na przyjęciu lub odrzuceniu określonej hipotezy przy danym poziomie istotności. Dla rozważanego przypadku hipotezy będą miały postać:

- ♦ hipoteza zerowa (H_0): występuje zgodność rozkładu teoretycznego z rozkładem empirycznym;
- ♦ hipoteza alternatywna (H_1): brak zgodności rozkładów.

Poziom istotności α to prawdopodobieństwo błędnego odrzucenia hipotezy H_0 , gdy jest ona prawdziwa. Ustalenie wartości α zależy od specyfiki rozważanego problemu; najczęściej zakłada się $\alpha = 0,05$.

Kryterium przyjęcia jednej z hipotez jest wynik testu zgodności rozkładu teoretycznego z rozkładem empirycznym wyznaczonym na podstawie danych. W tym celu można zastosować test Kołmogorowa. Polega on na porównaniu dystrybuanty rozkładu teoretycznego $F(x)$ z dystrybuantą empiryczną $F_n(x)$ i wyznaczeniu statystyki testowej D_n .

Dystrybuantę empiryczną $F_n(x)$ oblicza się według wzoru (5).

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } x \leq x_{(1)} \\ \frac{i}{n} & \text{jeżeli } x_i < x \leq x_{(i+1)} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \\ 1 & \text{jeżeli } x > x_{(n)} \end{cases} \quad (5)$$

Statystykę testową D_n oblicza się według wzoru (6).

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (6)$$

Wartość krytyczna statystyki $D_n(\alpha)$ zależy od poziomu istotności oraz liczby danych; można ją odczytać z tablic [8].

Dysponując obliczoną statystyką testową, można wyznaczyć parametr p , nazywany *p-wartością*. Jest on definiowany jako największa wartość poziomu istotności, dla której można jeszcze przyjąć hipotezę zerową [3]. Parametr ten pozwala dodatkowo na porównanie różnych modeli i wybór najlepiej dopasowanego do danych.

Jeżeli $D_n < D_n(\alpha)$ lub $p \geq \alpha$ to nie ma podstaw do odrzucenia H_0 ; w przeciwnym przypadku H_0 należy odrzucić na korzyść H_1 .

Jakość wyników analizy zależy w głównej mierze od danych. Gdy liczba danych jest mała lub gdy dane zawierają błędy, model może znacznie odbiegać od rzeczywistości.

Jako przykład wykorzystania statystycznej analizy danych przedstawiono weryfikację hipotezy zgodności rozkładu dla hipotetycznych czasów pracy t_i obiektów technicznych do pierwszego uszkodzenia, zebranych w tabeli 3.

Przy założeniu, że – oprócz czynników losowych – wpływ mogą mieć procesy starzenia, przyjęto, że dane mogą mieć rozkład Weibulla; dla nich opracowano wykres kwantyl-kwantyl pokazany na rysunku 3.

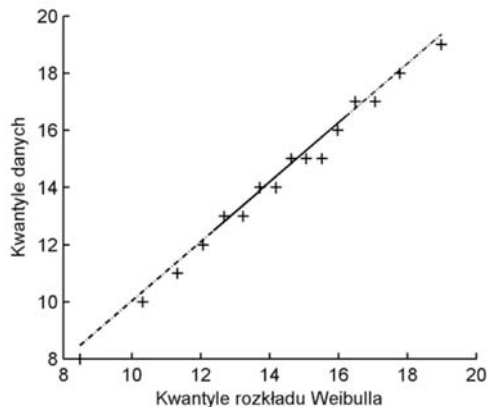
Punkty ułożone blisko linii reprezentującej ich teoretyczny przebieg świadczą o poprawnym doborze rozkładu.

Gęstość rozkładu Weibulla opisana jest równaniem (7). Oszacowanie parametrów rozkładu zrealizowano w programie Matlab, wykorzystującym do obliczeń metodę największej wiarygodności. Otrzymano wartości: $\theta = 8109728$ i $\delta = 5,8$.

$$f(t) = \frac{\delta}{\theta} t^{\delta-1} \exp\left(-\frac{t^\delta}{\theta}\right) \quad (7)$$

Tab. 3. Zestawienie danych i wyników obliczeń

i	t_i	$F_n(t_i)$	$F(t_i)$	D_n	i	t_i	$F_n(t_i)$	$F(t_i)$	D_n
1	8	0,0625	0,0223	0,0402	9	15	0,5625	0,5844	0,0219
2	10	0,1250	0,0794	0,0456	10	15	0,6250	0,5844	0,0406
3	11	0,1875	0,1342	0,0533	11	15	0,6875	0,5844	0,1031
4	12	0,2500	0,2128	0,0372	12	16	0,7500	0,7216	0,0284
5	13	0,3125	0,3171	0,0046	13	17	0,8125	0,8380	0,0255
6	13	0,3750	0,3171	0,0579	14	17	0,8750	0,8380	0,0370
7	14	0,4375	0,4442	0,0067	15	18	0,9375	0,9211	0,0164
8	14	0,5000	0,4442	0,0558	16	19	1,0000	0,9692	0,0308



Rys. 3. Wykres kwantyl-kwantyl
Źródło: oprac. własne.

Do weryfikacji hipotezy H_0 o poprawnym doborze modelu wykorzystano omawiany wcześniej test Kołmogorowa. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3. Wyróżniona wartość statystyki testowej wynosi $D_n = 0,1031$. Przy przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ odczytano z tablic [8] wartość krytyczną statystyki $D_n(\alpha) = 0,3273$. Nierówność $D_n < D_n(\alpha)$ jest spełniona, zatem nie ma podstaw do odrzucenia H_0 .

Opracowany model pozwala na podanie postaci funkcyjnych wskaźników niezawodnościowych:

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{5,8}{8109728} t^{5,8-1} \exp\left(-\frac{t^{5,8}}{8109728}\right) \\ F(t) &= 1 - \exp\left(-\frac{t^{5,8}}{8109728}\right) \\ R(t) &= \exp\left(-\frac{t^{5,8}}{8109728}\right) \\ \lambda(t) &= \frac{5,8}{8109728} t^{5,8-1} \end{aligned} \quad (8)$$

Przebiegi funkcji przedstawiono na rysunku 4.

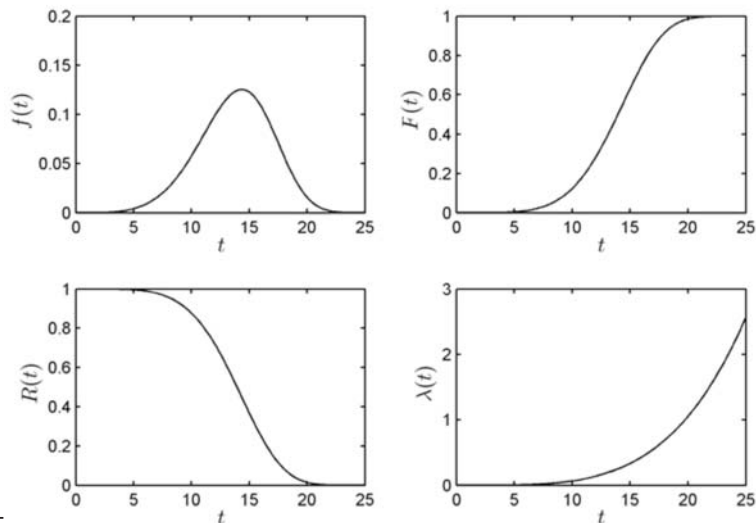
Uzyskany wynik obliczeń świadczy o tym, że badane obiekty znajdują się w okresie starzenia. Ze względu na zapewnienie eksploatacji obiektów technicznych przy najniższych nakładach finansowych będzie można wykorzystać uzyskane dane w planowaniu strategii odnowy prewencyjnych. Wyznaczenie tej strategii jest możliwe w sytuacji, kiedy znane nam są nakłady finansowe na eksploatację i koszty przeprowadzania odnowy prewencyjnych. Do wyznaczenia najlepszej strategii wymian i rozbudowy systemów komunikacyjnych można wykorzystać modele teoretyczne przedstawione w pracach [2, 4].

Podsumowanie

Ocena systemu eksploatacji pod kątem minimalizacji kosztów jej eksploatacji nie może być przeprowadzana tylko w kategoriach subiektywnego odczucia użytkowników, czy jej przebieg spełnia oczekiwania decydentów i odbiorców świadczonych usług, szczególnie w sytuacji, kiedy w sposób ciągły przeprowadzana jest modernizacja takiego systemu.

Przedstawiona koncepcja wprowadzania ilościowych miar oceny systemu eksploatacji, zaprezentowana w niniejszym artykule, jest propozycją rozbudowy baz wiedzy o elementy związane z niezawodnością funkcjonowania środków transportu.

Wyznaczenie charakterystyk niezawodnościowych ma ścisły związek z wdrażaniem strategii prewencyjnych napraw i wymian



Rys. 4. Przebiegi wskaźników niezawodnościowych
Źródło: oprac. własne.

pojazdów, prowadzącym do minimalizacji nakładów na eksploatację środków transportu komunikacji miejskiej.

Bibliografia:

1. Gramza G., *Wybrane zagadnienia oceny jakości miejskiego publicznego transportu zbiorowego, „Autobusy”* 2011, nr 12.
2. Karpiński J., Firkowicz S., *Zasady profilaktyki obiektów technicznych*, PWN, Warszawa 1981.
3. Klonecki W., *Statystyka dla inżynierów*, PWN, Warszawa 1999.
4. Koźniewska I., Włodarczyk M., *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*, PWN, Warszawa 1978.
5. Piec P., *Badania eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
6. Smalko Z., *Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych*, PWN, Warszawa 1972.
7. Ważyńska-Fiok K., *Podstawy teorii eksploatacji i niezawodności systemów transportowych*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
8. Zieliński R., *Tablice statystyczne*, PWN, Warszawa 1972.

Autorzy:

Maksymilian Smolnik – asystent stażysta Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
Grzegorz Wiązania – asystent stażysta Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
Jan Szybka – profesor Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

A conception of the valuation of the vehicles' maintenance system in municipal public transport services

The paper presents the conception of the valuation of the vehicles' maintenance system in municipal public transport services. A sample of the reliability indexes and characteristics have been presented. They are evaluated on the ground of the maintenance information stored in proper databases. The use of them is essential for the responsible decision making. These decisions are strictly connected with the supervision of the vehicles' technical conditions, preparation of the maintenance station and the supply of spare parts and materials needed during the repairing.