

SZKODA Maciej¹

Analiza niezawodności lokomotywy spalinowej serii SM48

Analiza niezawodności,
Wskaźniki niezawodnościowe,
Lokomotywa SM48

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy niezawodności lokomotywy spalinowej serii SM48. Analiza niezawodności opierała się na badaniach eksploatacyjnych wybranej próby lokomotyw eksploatowanych w PKP CARGO S.A. W artykule przedstawiono wybrane wskaźniki niezawodności lokomotywy, które zostały podzielone na cztery grupy: wskaźniki dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, trwałości i obsługiwalności.

RELIABILITY ANALYSIS OF DIESEL LOCOMOTIVE SERIES SM48

Abstract

The article concerns reliability analysis of diesel locomotive Series SM48. This analysis has been based on utilization researches conducted on chosen sample of locomotives utilized in PKP CARGO S.A. In the article there have been presented chosen indicators of locomotive reliability that have been divided to four groups: indicators of non-destructibility, durability, maintainability and availability.

1. WSTĘP

Środki transportu szynowego w okresie trwałości powinny wyróżniać się wysoką niezawodnością, tj. mieć małą intensywność zużycia elementów, małą intensywność uszkodzeń, być odpornym na szkodliwe oddziaływanie otoczenia, angażować małą pracochłonność obsługi, funkcjonować bezawaryjnie oraz gwarantować wysoki poziom bezpieczeństwa przewozu podróżnych i ładunków [1].

Przedmiotem artykułu jest analiza niezawodności lokomotywy spalinowej serii SM48 (rys. 1). W analizie niezawodności lokomotywa traktowana jest jako obiekt odnawialny, dla którego wyróżnia się opis niezawodności do pierwszego uszkodzenia (jak dla obiektów nieodnawialnych) i opis niezawodności z uwzględnieniem wielu uszkodzeń i odnów. Opis niezawodności z uwzględnieniem wielu uszkodzeń i odnów jest na ogół dokonywany przy założeniu, że odnowa przywraca w pełni początkowe własności obiektu. Na potrzeby badania i oceny niezawodności lokomotywy SM48 przyjmuje się, że modelem matematycznym opisującym przebieg eksploatacji jest proces odnowy ze skończonym czasem trwania odnowy. Wyróżnia się przy tym dwa stany systemu i jego elementów: stan zdatności i stan niezdatności.



Dane techniczne lokomotywy serii SM48:

Przeznaczenie: manewrowa (liniowa)

Liczba i układ osi: 6 osi Co'Co'

Prędkość konstrukcyjna: 100 km/h

Rodzaj przekładni: elektryczna, prąd stały / prąd stały

Masa służbowa lokomotywy: 120 ± 3% tony

Siła pociągowa dla pracy ciągłej: 202 kN

Silnik spalinowy oznaczenie: 2D50M / PD1M

Moc znamionowa silnika: 880 kW (1200 KM)

Jednostkowe zużycie paliwa: 165 g / KMh

Rys.1. Widok lokomotywy serii SM48 i podstawowe dane techniczne (zdj. <http://pl.wikipedia.org/wiki/SM48>)

Ze względu na ograniczenia dotyczące objętości artykułu, przedstawiono w nim wybrane wyniki analizy niezawodności lokomotywy. Zestawiono wskaźniki niezawodnościowe odnoszące się wyłącznie do lokomotywy jako całości, bez szczegółowych obliczeń dla zespołów i elementów. Pełne wyniki analizy niezawodności zawiera praca [2].

¹Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków,
Tel. +48 12 374 35 12, e-mail: maciek@m8.mech.pk.edu.pl

2. BADANIA EKSPLOATACYJNE LOKOMOTYWY

Ocena niezawodności lokomotywy serii SM48 opierała się na badaniach eksploatacyjnych wybranej próby lokomotyw o numerach: SM48-060, SM48-065, SM48-122, SM48-123 i SM48-126 eksploatowanych w PKP CARGO S.A., Wschodni Zakład Spółki w Lublinie, Sekcja Eksploatacji i Napraw Taboru Trakcyjnego w Chełmie. Kryterium wyboru lokomotyw do badań eksploatacyjnych był termin ostatniej wykonanej naprawy rewizyjnej. Przyjęto założenie, że naprawa rewizyjna w pełni przywraca początkowe własności użytkowe i niezawodnościowe. Ogółem badania eksploatacyjne obejmowały okres od początku listopada 2004 roku do końca lipca 2011, co umożliwiło badanie każdej z lokomotyw w okresach między naprawami rewizyjnymi.

Dane eksploatacyjne wyżej wymienionych lokomotyw gromadzone były na wewnętrznych dokumentach ewidencyjnych PKP CARGO S.A. pełniących funkcje kart eksploatacyjnych, w tym między innymi:

- Książki napraw bieżących pojazdów trakcyjnych serii SM48,
- Książki przeglądów okresowych pojazdu trakcyjnego serii SM48,
- Książki spalinowego pojazdu trakcyjnego serii SM48.

Powyższe dokumenty zawierają szczegółowe informacje dotyczące:

- daty wystąpienia uszkodzenia,
- okoliczności wykrycia i przyczyn uszkodzenia,
- charakterystyki czasowe obsługi, tj. czas trwania naprawy bieżącej, czasy przestoju organizacyjnych,
- wartości liczbowe różnych cech mierzalnych przed naprawą i po naprawie,
- zużyte materiały i części zamienne, technologie operacji naprawczych,
- inne dodatkowe informacje.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe informacje dotyczące procesu eksploatacji badanych lokomotyw.

Tab. 1. Informacje o procesie eksploatacji badanych lokomotyw

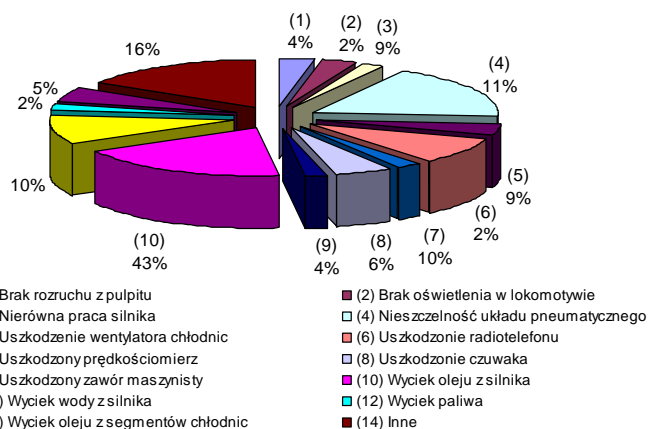
Początek obserwacji	Koniec obserwacji	Czas eksploatacji		Przebieg	
		Razem	Średnio na lokomotywę	Razem	Średnio na lokomotywę
1.11.2004	30.07.2011	262.800,0 godz.	52.560,0 godz./lok.	712.800,0 km	142.560,0 km/lok.

Do najczęściej występujących uszkodzeń lokomotywy SM48 zarejestrowanych podczas eksploatacji należą:

- wycieki oleju z silnika spalinowego,
- wycieki wody z układu chłodzenia,
- nieszczelności układu pneumatycznego,
- uszkodzenia w układzie elektrycznym (w tym radiotelefonu),
- uszkodzenia wentylatorów chłodnic i inne.

Strukturę zarejestrowanych uszkodzeń dla badanej próby lokomotyw SM48 przedstawiono na rysunku 2. Z analizy rysunku wynika, że najbardziej zawodnymi okazały się zespoły:

- silnik spalinowy typu PD1M (układ chłodzenia i układ smarowania),
- układ pneumatyczny,
- maszyny i układ elektryczny.



Rys. 2. Struktura uszkodzeń lokomotywy serii SM48

3. WYBRANE WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI LOKOMOTYWY

Zgromadzone podczas badań eksploatacyjnych dane zostały przeanalizowane i usystematyzowane. Wstępnie, wszystkie dane eksploatacyjne podlegały weryfikacji pod kątem wyznaczenia i odrzucenia wątpliwych danych. Stosując kryterium Grubbsa, przy założeniu ryzyka popełnienia błędu na poziomie 5%, otrzymano bazę danych czasów poprawnej pracy i odnów lokomotywy.

Formalny zapis w postaci elektronicznej zebranych i przetworzonych informacji przeprowadzony został wstępnie w programie Microsoft Excel. Następnie z wykorzystaniem możliwości pakietów Statistica 7.1, MiniTab 15 oraz Mathematica 4.0 przeprowadzono analizę niezawodności obejmującą między innymi:

- budowę histogramów czasów poprawnej pracy i czasów usuwania uszkodzenia,
- weryfikację hipotez o postaci rozkładów czasów poprawnej pracy i czasów usuwania uszkodzenia,
- estymację nieznanymi parametrów rozkładów,
- wyznaczenie podstawowych parametrów statystycznych,
- obliczenie wskaźników niezawodnościowych.

Wybrane wskaźniki niezawodności zostały wyszczególnione w punktach 3.1 ÷ 3.4. Wskaźniki te zostały obliczone na podstawie wzorów i definicji zawartych w pracach [3, 4, 5]. Wskaźniki te zostały zestawione w drugim artykule autora pt: *Wskaźniki niezawodności środków transportu szynowego*.

3.1 Wskaźniki związane z nieuszkodzalnością

W ramach oceny nieuszkodzalności lokomotywy SM48 wyznaczono:

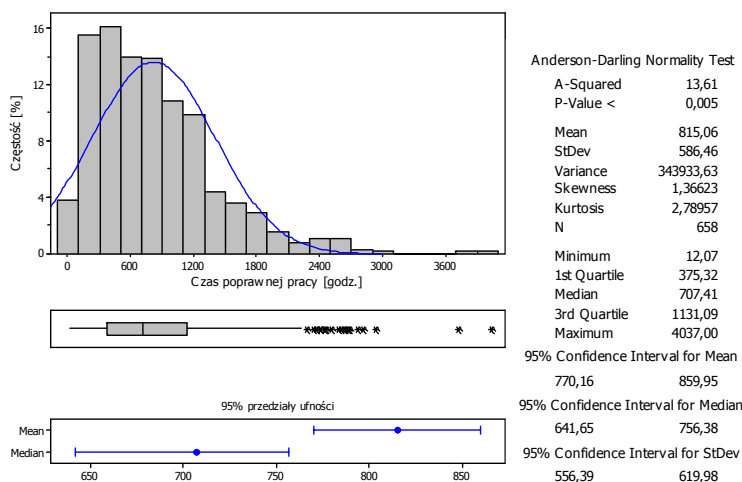
- dystrybucję czasu pracy do pierwszego uszkodzenia $F(t)$,
- dystrybucję czasu pracy między uszkodzeniami $F_k(t)$,
- funkcję odnowy między naprawami rewizyjnymi $H(t)$.

Sporządzono histogramy czasu pracy do pierwszego uszkodzenia, obliczono wartości podstawowych parametrów statystycznych: średniej, odchylenia standardowego, wariancji, ogólnej liczby wszystkich uszkodzeń, wartości minimalnej, maksymalnej i środkowej, wartości pierwszego i trzeciego kwantyla wraz z przedziałami ufności.

Na wykresach przedstawiono dystrybucję empiryczną czasu pracy do uszkodzenia (tzw. funkcję zawodności) oraz dystrybucję teoretyczną najlepiej dopasowanego rozkładu. Jakość dopasowania rozkładu teoretycznego do danych empirycznych przedstawiono za pomocą siatek funkcyjnych. Weryfikację hipotez o rozkładach czasów poprawnej pracy przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania Statistica 7.1 i MiniTab 15, które umożliwiają dobór spośród zbioru 14-rozkładów zmiennych losowych ciągłych, w tym: rozkładu wykładniczego, Weibulla, normalnego, lognormalnego, loglogistycznego, loglogistycznego, gamma, Beta, Rayleigha, wartości skrajnych i innych. Do weryfikacji hipotez o postaci rozkładu przyjęto poziom ufności 95% i zastosowano test Andersona-Darlinga (A-D). Do estymacji parametrów rozkładu, czasów poprawnej pracy i czasów usuwania uszkodzenia, zastosowano metodę największej wiarygodności.

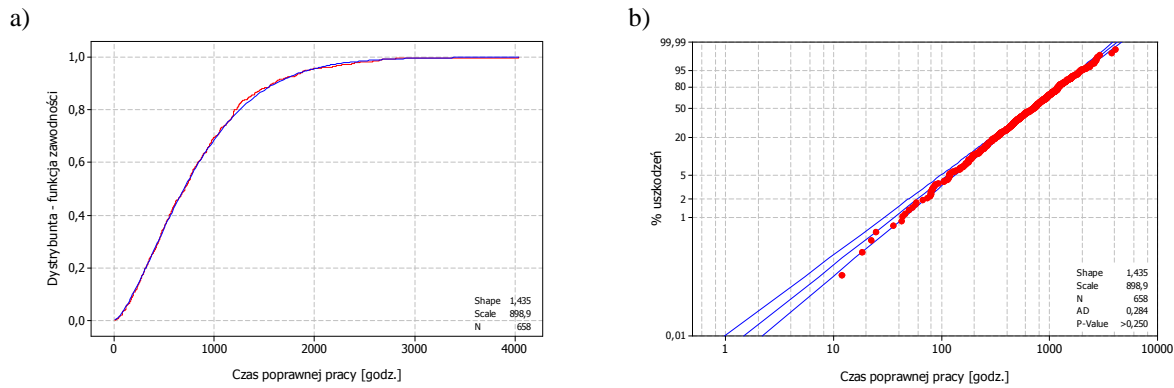
a) Dystrybucja czasu pracy do pierwszego uszkodzenia $F(t)$

Na rysunku 3 przedstawiono histogram częstości uszkodzeń lokomotyw SM48 z podstawowymi parametrami statystycznymi i przedziałami ufności 95%.



Rys.3. Histogram częstości uszkodzeń lokomotywy SM48 z podstawowymi parametrami statystycznymi i przedziałami ufności 95%

Test A-D potwierdził na poziomie ufności 95% zgodność empirycznego rozkładu czasu poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia lokomotywy SM48 z rozkładem Weibulla o parametrach: $a = 1,435$ i $b = 898,9$ (rys. 4).



Rys.4. a) Dystrybuanta empiryczna i teoretyczna rozkładu Weibulla czasu pracy do uszkodzenia lokomotywy SM48, b) Dopasowanie rozkładu Weibulla do danych empirycznych

Na podstawie oszacowanych parametrów rozkładu, z zastosowaniem pakietu Mathematica, wyznaczono:

- funkcję gęstości prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia:

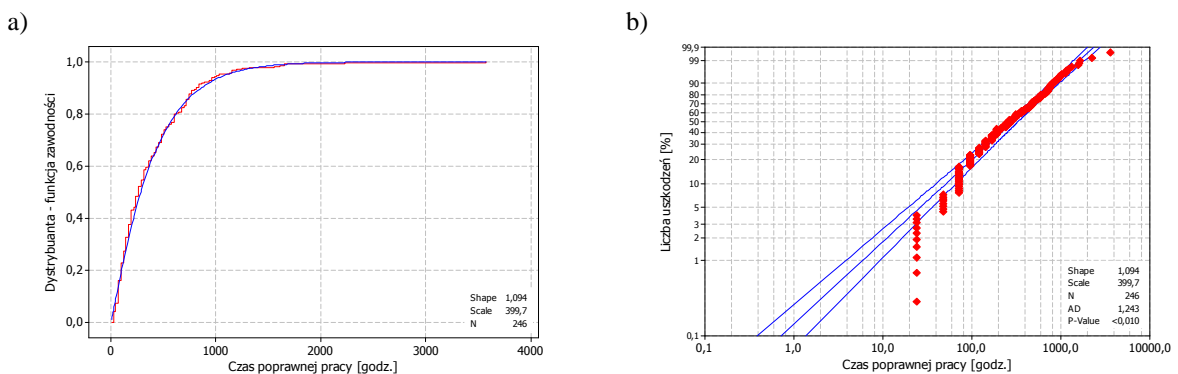
$$f(t) = \frac{a}{b} \left(\frac{t}{b}\right)^{a-1} \exp\left(-\frac{t}{b}\right)^a = 8,285 \times 10^{-5} \exp(-5,773 \times 10^{-5} \cdot t^{1,435}) \cdot t^{0,435}, \quad \text{dla } t \geq 0 \quad (1)$$

- dystrybuantę czasu pracy do pierwszego uszkodzenia:

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{b}\right)^a = 1 - \exp(-5,773 \times 10^{-5} \cdot t^{1,435}), \quad \text{dla } t \geq 0 \quad (2)$$

b) Dystrybuanta czasu pracy między uszkodzeniami $F_k(t)$

Test A-D potwierdził na poziomie ufności 95% zgodność empirycznego rozkładu czasu pracy między uszkodzeniami lokomotywy SM48 z rozkładem Weibulla o parametrach: $a = 1,094$ i $b = 399,7$ (rys. 5).



Rys. 5. a) Dystrybuanta empiryczna i teoretyczna rozkładu Weibulla czasu pracy między uszkodzeniami lokomotywy SM48, b) Dopasowanie rozkładu Weibulla do danych empirycznych

Na podstawie oszacowanych parametrów rozkładu, z zastosowaniem pakietu Mathematica, wyznaczono:

- funkcję gęstości prawdopodobieństwa czasu pracy między uszkodzeniami:

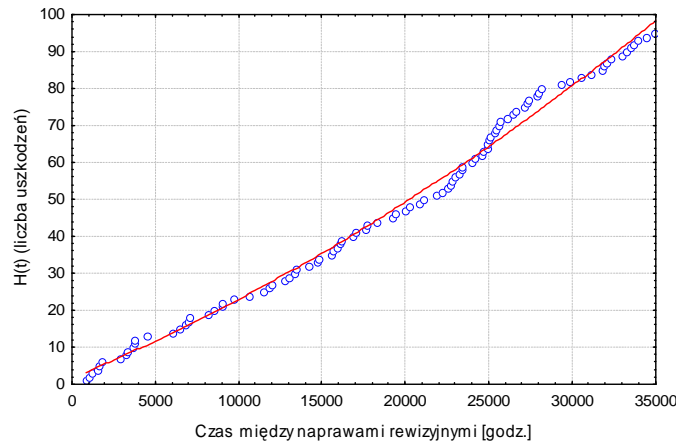
$$f_k(t) = \frac{a}{b} \left(\frac{t}{b}\right)^{a-1} \exp\left(-\frac{t}{b}\right)^a = 1,559 \times 10^{-3} \exp(-1,4246 \times 10^{-3} \cdot t^{1,094}) \cdot t^{0,094}, \quad \text{dla } t \geq 0 \quad (3)$$

- dystrybuantę czasu pracy między uszkodzeniami:

$$F_k(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{b}\right)^a = 1 - \exp(-1,4246 \times 10^{-3} \cdot t^{1,094}), \quad \text{dla } t \geq 0 \quad (4)$$

c) Funkcja odnowy między naprawami rewizyjnymi lokomotywy $H(t)$

Funkcja odnowy $H(t)$ określa średnią liczbę uszkodzeń lokomotywy w funkcji czasu poprawnej pracy. W zależności od wielkości czasu odnowy są dwa różne sposoby wyznaczenia $H(t)$. Dla badanej lokomotywy obliczono stosunek całkowitego czasu odnowy do czasu poprawnej pracy. Z obliczeń wynika, że czas poświęcony na odnowę między kolejnymi naprawami rewizyjnymi nie przekracza 1,5% czasu poprawnej pracy lokomotywy. W związku z tym, w obliczeniach funkcji odnowy $H(t)$, czas odnowy można uznać za pomijalnie mały w porównaniu z czasem pracy i praktycznie przyjmuje się go równym zero. W takim przypadku funkcja odnowy wyraża oczekiwaną liczbę odnow równoważną liczbie uszkodzeń do chwili t . Wykres empirycznej funkcji odnowy wraz z teoretycznym dopasowaniem między kolejnymi naprawami rewizyjnymi (4 lata eksploatacji) przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Funkcja odnowy lokomotywy SM48 między kolejnymi naprawami rewizyjnymi

Z wykresu funkcji $H(t)$ można odczytać średnią ilość uszkodzeń lokomotywy SM48 w funkcji czasu. Z przedstawionych danych wynika, że pomiędzy naprawami rewizyjnymi występuje średnio 96 uszkodzeń lokomotywy, z czego:

- 20 uszkodzeń w pierwszym roku eksploatacji po naprawie rewizyjnej,
- 21 uszkodzeń w drugim roku eksploatacji,
- 31 uszkodzeń w trzecim roku eksploatacji,
- 24 uszkodzeń w czwartym roku eksploatacji.

Do celów analitycznych empiryczną postać funkcji odnowy lokomotywy można przedstawić w postaci:

$$H(t) = 1,641 + 0,0019t + 2,5464 \times 10^{-8} t^2 \quad \text{dla } 0 \leq t \leq 35040 \quad (5)$$

gdzie:

t – czas eksploatacji lokomotywy w [godz.]

3.2 Wskaźniki związane z trwałością

Z niezawodnością łączy się pojęcie trwałości. Pojazd niezawodny to taki, który możliwie najrzadziej uszkadza się, a po wystąpieniu uszkodzenia daje się możliwie łatwo i szybko naprawiać. Natomiast pojazd trwały to taki, który można możliwie długo użytkować zgodnie z przeznaczeniem, niezależnie od ilości uszkodzeń, jakie w czasie tego użytkowania występują. Trwałość może być mierzona przez różne wskaźniki. Dla lokomotywy SM48, wykorzystując oszacowane w punkcie 3.1 parametry rozkładu i funkcję gęstości prawdopodobieństwa $f(t)$, obliczono oczekiwany czas pracy do pierwszego uszkodzenia $MTTF$. Ponadto na podstawie danych eksploatacyjnych, obliczono oszacowanie statystyczne czasu do uszkodzenia $MTTF^*$ oraz oczekiwany czas między uszkodzeniami $MTBF^*$. W obliczeniach zastosowano program analizy matematycznej Mathematica 4.0.

a) Oczekiwany czas pracy do pierwszego uszkodzenia $MTTF$

Oczekiwany czas pracy do pierwszego uszkodzenia lokomotywy obliczony na podstawie funkcji rozkładu czasu poprawnej pracy wynosi:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot [1 - \exp(-5,773 \times 10^{-5} \cdot t^{1,435})] dt = 816,2 \text{ [godz.]} \quad (6)$$

Oszacowanie statystyczne czasu pracy do pierwszego uszkodzenia obliczone na podstawie danych eksploatacyjnych obejmujących 5 cykli utrzymania wynosi:

$$MTTF^* = 816,0 \text{ [godz.]} \quad (7)$$

b) Oczekiwany czas pracy między uszkodzeniami *MTBF*

Oczekiwany czas pracy między uszkodzeniami lokomotywy obliczony na podstawie funkcji rozkładu czasu pracy między uszkodzeniami wynosi:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f_k(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot [1,559 \times 10^{-3} \exp(-1,4246 \times 10^{-3} \cdot t^{1,094})] dt = 386,4 \text{ [godz.]} \quad (8)$$

Oszacowanie statystyczne oczekiwanego czasu poprawnej pracy lokomotywy między uszkodzeniami obliczone na podstawie danych eksploatacyjnych wynosi:

$$MTBF^* = 385,2 \text{ [godz.]} \quad (9)$$

Z powyższych obliczeń wynika, że pierwsze uszkodzenie lokomotywy SM48 po wykonanej naprawie rewizyjnej występuje średnio po 816 godzinach pracy (około 34 dni), a kolejne nieplanowe uszkodzenia występują średnio co 386 godzin pracy (około 16 dni).

3.3 Wskaźniki związane z obsługawalnością

Obsługawalność to właściwość charakteryzująca przystosowanie pojazdu do wykonywania napraw w celu odtworzenia stanu zdatności. Ocena obsługawalności lokomotywy SM48 dotyczy zarówno napraw bieżących jak i obsług profilaktycznych, wykonywanych w ramach cyklu utrzymania. W zakresie napraw bieżących wyznaczono empiryczną i teoretyczną dystrybuantę czasu odnowy $G(t)$ oraz oczekiwany czas usuwania uszkodzenia $MTTR$. $MTTR$ obejmuje czas naprawy i czas opóźnień technicznych, który związany jest z diagnozowaniem uszkodzenia i gromadzeniem części zamiennych.

Do wyznaczenia teoretycznych dystrybuant czasu odnowy zastosowano rozkład lognormalny, który najczęściej jest wykorzystywany do modelowania czasu trwania obsłóg, np.: czasu naprawy, profilaktyki, kontroli stanu. Intensywność zakończenia obsłóg w początkowym okresie jest bardzo mała. Wynika z tego, że przystąpienie do wykonania obsłogi wymaga określonego czasu, następnie potrzebny jest czas na wykonanie nawet najprostszyc czynności obsłogowych. Przeciętnie obsługa jest realizowana w pewnym czasie t , dla którego intensywność zakończenia wykonania obsłogi jest największa. Wykonanie obsłogi w czasie większym niż t jest zdarzeniem bardzo rzadkim. Można zatem powiedzieć, że intensywność zakończenia wykonania obsłogi zaczyna maleć. Taką sytuację dobrze opisuje rozkład lognormalny, którego funkcja gęstości prawdopodobieństwa wyrażona jest wzorem [6, 7]:

$$g(t) = \frac{1}{t \cdot \delta \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln t - a)^2}{2\delta^2}\right], \text{ dla } t > 0 \quad (10)$$

Dystrybuanta czasu odnowy:

$$G(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{(\ln \tau - a)^2}{2\delta^2}\right] d\tau, \text{ dla } \tau > 0 \quad (11)$$

Oczekiwany czas odnowy (naprawy bieżącej):

$$MTTR_B = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) dt = \int_0^{\infty} \frac{t}{t \cdot \delta \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln t - a)^2}{2\delta^2}\right] dt, \text{ dla } t > 0 \quad (12)$$

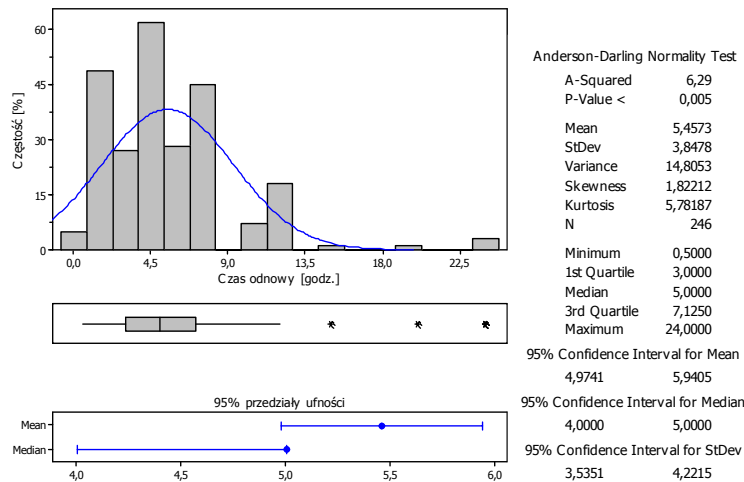
gdzie:

- a – parametr kształtu,
- δ – parametr skali.

a) Dystrybuanta czasu odnowy $G(t)$ i oczekiwany czas odnowy $MTTR_B$

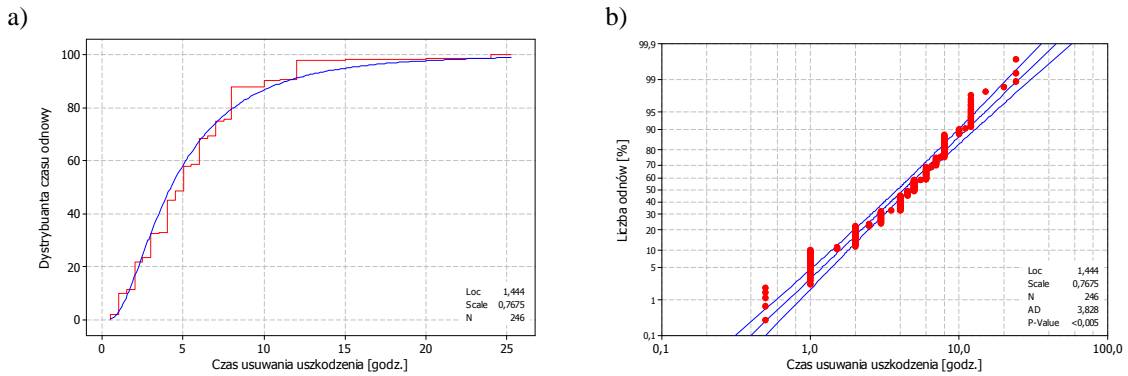
Podstawą do wyznaczenia dystrybuanty i oczekiwanego czasu odnowy były dane eksploatacyjne pozyskane ze 658 napraw bieżących lokomotyw SM48, wykonanych w latach 2004 ÷ 2011 w PKP CARGO S.A.

Na rysunku 7 przedstawiono histogram częstości odnów lokomotywy SM48 z podstawowymi parametrami statystycznymi i przedziałami ufności 95%.



Rys. 7. Histogram liczności odnów lokomotywy SM48 z podstawowymi parametrami statystycznymi i przedziałami ufności 95%

Oszacowane parametry rozkładu lognormalnego czasu odnowy wynoszą: $a = 1,444$ i $\delta = 0,7675$ (rys. 8).



Rys.8. a) Dystrybuanta empiryczna i teoretyczna rozkładu lognormalnego czasu odnowy lokomotywy SM48, b) Dopasowanie rozkładu lognormalnego do danych empirycznych

Dystrybuanta czasu odnowy lokomotywy SM48 wyznaczona za pomocą pakietu Mathematica:

$$G(t) = 0,5 \left(1 + \Phi \left(\frac{\ln(t) - 1,444}{0,7675\sqrt{2}} \right) \right), \text{ dla } t > 0 \quad (13)$$

gdzie:

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt - \text{funkcja rozkładu Gaussa}$$

Oczekiwany czas odnowy obliczony na podstawie funkcji rozkładu czasu odnowy wynosi:

$$MTTR_B = \exp \left(a + \frac{\delta^2}{2} \right) = 5,7 [\text{godz.}] \quad (14)$$

Oszacowanie statystyczne średniego czasu odnowy:

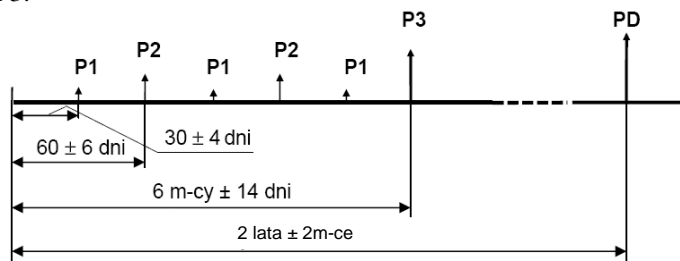
$$MTTR_B^* = 5,5 [\text{godz.}] \quad (15)$$

Z powyższych obliczeń wynika, że średni czas odnowy (naprawy bieżącej) lokomotywy SM48, wynosi średnio 5,7 [godz.].

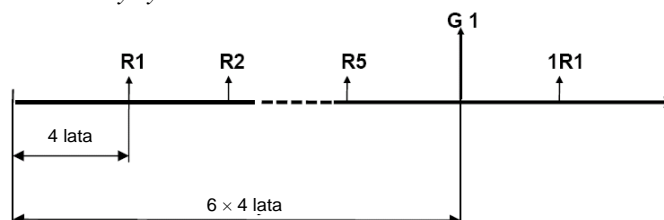
b) Oczekiwany czas obsługa profilaktycznych

W ramach utrzymania profilaktycznego lokomotywy SM48, wykonywane są przeglądy i naprawy według cykli przedstawionych na rysunku 9 i 10. Zakres czynności w ramach poszczególnych obsługa określony jest w *Dokumentacji technologicznej systemu utrzymania: Lokomotywa spalinowa typu TCM2 serii SM48 [8]*.

Na podstawie danych uzyskanych w PKP CARGO S.A., obliczono średnie czasy trwania poszczególnych obsługa. Obliczenia zestawiono w tabeli 3.



Rys.9. Schemat cyklu przeglądów lokomotywy serii SM48



Rys.10. Schemat cyklu napraw okresowych lokomotywy serii SM48

Tab. 3. Czasy trwania obsługa profilaktycznych lokomotywy SM48

Lp.	Parametr	Oznaczenie	Wartość
1	Czas trwania przeglądu kontrolnego PK	MTTR _{PK}	4,0 godz.
2	Czas trwania przeglądu okresowego P1	MTTR _{P1}	12,0 godz.
3	Czas trwania przeglądu okresowego P2	MTTR _{P2}	24,0 godz.
4	Czas trwania przeglądu okresowego P3	MTTR _{P3}	3,0 dni
5	Czas trwania przeglądu okresowego PD	MTTR _{PD}	25,0 dni
6	Czas trwania naprawy rewizyjnej R	MTTR _R	66,0 dni
7	Czas trwania naprawy głównej G	MTTR _G	92,0 dni

3.4 Wskaźniki związane z gotowością techniczną

Do oceny gotowości technicznej analizowanej lokomotywy posłużono się wskaźnikami gotowości operacyjnej A_O i gotowości rzeczywistej A_R . Wskaźniki te przedstawiają wartość średnią gotowości technicznej pomiędzy naprawami rewizyjnymi lokomotywy. W definicji wskaźników A_O i A_R , zawarte są zarówno parametry związane z niezszkodzalnością, jak i obsługa walnością wyznaczone w punktach 3.1 ÷ 3.3.

a) Wskaźnik gotowości operacyjnej A_O

Średni czas eksploatacji lokomotywy pomiędzy naprawami rewizyjnymi, wynikający z danych eksploatacyjnych:

$$TZ = 30184,8 [\text{godz.}] \tag{16}$$

Średni czas niezdatności lokomotywy związany z naprawami bieżącymi pomiędzy naprawami rewizyjnymi:

$$TN = H(T_{NR}) \cdot MTTR_B = 99,5 \cdot 5,7 [\text{godz.}] = 567,2 [\text{godz.}] \tag{17}$$

gdzie:

$H(T_{NR})$ – wartość funkcji odnowy lokomotywy SM48 pomiędzy naprawami rewizyjnymi,

$MTTR_B$ – oczekiwany czas odnowy lokomotywy.

Na podstawie powyżej obliczonych parametrów określono wskaźnik gotowości operacyjnej:

$$A_o = \frac{TZ}{TZ + TN} = \frac{30184,8[\text{godz.}]}{30184,8[\text{godz.}] + 567,2[\text{godz.}]} = 0,9815 \quad (19)$$

Wskaźnik A_o na poziomie 0,9815 oznacza, że lokomotywa jest wyłączona z eksploatacji z powodu napraw bieżących średnio 139 godz. w ciągu jednego roku.

b) Wskaźnik gotowości rzeczywistej A_R

Średni czas postoju lokomotywy w przeglądach i naprawach okresowych pomiędzy kolejnymi rewizjami:

$$TO = \sum (PU_i \cdot MTTR_i) = 4288,0[\text{godz.}] \quad (18)$$

gdzie:

PU_i – ilość przeglądów lub napraw okresowych,

$MTTR_i$ – oczekiwany czas trwania przeglądu lub naprawy okresowej.

Na podstawie powyższych parametrów określono wskaźnik gotowości rzeczywistej:

$$A_R = \frac{TZ}{TZ + TN + TO} = \frac{30184,8[\text{godz.}]}{30184,8[\text{godz.}] + 567,2[\text{godz.}] + 4288,0[\text{godz.}]} = 0,8614 \quad (20)$$

Wskaźnik A_R na poziomie 0,8614 oznacza, że lokomotywa jest wyłączona z eksploatacji z powodu napraw bieżących oraz obsługi profilaktycznych średnio 1046 godz. w ciągu jednego roku.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wybrane wyniki analizy niezawodności lokomotywy spalinowej serii SM48. Obliczono podstawowe wskaźniki niezawodności, które dotyczą takich cech pojazdu jak: nieuszkodzalność, gotowość, trwałość i obsługiwalność. Przeprowadzone badania, uzupełnione o analizę zużycia istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu kolejowego zespołów i elementów lokomotywy były podstawą do modyfikacji cyklu utrzymania lokomotywy. Wyznaczone wskaźniki niezawodnościowe mogą również stanowić podstawę do przeprowadzenia analizy ekonomicznych aspektów eksploatacji tzw. analizy kosztu cyklu trwałości (analizy LCC).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Marciniak J.: *Niezawodność kolejowych pojazdów szynowych*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Radom 1993.
- [2] *Analiza możliwości zmiany cyklu naprawczego do naprawy rewizyjnej – poziom P4 i naprawy głównej – poziom P5 wyrażonego w latach dla lokomotyw typu TEM2 serii SM48*, Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych, identyfikator pracy nr M8/440/2011, Kraków 2011.
- [3] PN-EN 61703:2002 *Wyrażenia matematyczne dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi*.
- [4] Gniedenko B. W., Bielajew J. K., Sołowiew A. D.: *Metody matematyczne w teorii niezawodności*, Warszawa, WNT, 1968.
- [5] Hebda M., Janicki D.: *Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji*, Warszawa, WKiŁ, 1977.
- [6] Migdałski J. (Redaktor Naukowy): *Poradnik Tom II: inżynieria niezawodności*, Warszawa, ZETOM, 1992.
- [7] Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: *Niezawodność systemów technicznych*, Warszawa, PWN, 1990.
- [8] *Dokumentacja technologiczna systemu utrzymania: Lokomotywa spalinowa typu TCM2 serii SM48*. PKP Cargo S.A., 2002.