

Maciej SZKODA

OCENA NIEZAWODNOŚCI I EFEKTYWNOŚCI KOLEJOWYCH SYSTEMÓW PRZESTAWCZYCH W TRANSPORCIE MATERIAŁÓW NIEBEZPIECZNYCH

Streszczenie

Artykuł został opracowany na podstawie prac badawczych, prowadzonych w Instytucie Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, dotyczących oceny niezawodności i efektywności kolejowych systemów ze zmianą szerokości torów 1435/1520 mm. Efektywność tych systemów uzależniona jest istotnie od metody zmiany szerokości torów, wiążącej się ze złożonymi operacjami przeładunkowo-przestawczymi. W oparciu o analizę kosztu cyklu trwałości (analizę LCC) dokonano porównawczej oceny niezawodności i efektywności przewozu materiałów niebezpiecznych z wykorzystaniem aktualnie stosowanej technologii: wymiany wózków wagonowych i perspektywicznej: systemu samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych SUW 2000.

WPROWADZENIE

Rozwój gospodarczy w znacznym stopniu zależy od sprawnego systemu transportowego, który powinien umożliwiać niezawodny, bezpieczny i efektywny przewóz towarów zarówno w ruchu krajowym, jak i międzynarodowym. Zapewnienie tych warunków jest szczególnie trudne dla międzynarodowego transportu kolejowego. Związane jest to z różnymi szerokościami torów występujących na kontynencie euroazjatyckim. Większość europejskich państw, podobnie jak Polska, ma tory o szerokości 1435 mm, ale koleje byłej Wspólnoty Niepodległych Państw i innych, w tym Litwy, Łotwy i Estonii posiadają linie kolejowe o prześwicie toru 1520 mm. Na terenie Azji, pociąg porusza się po torze szerokim (1520 mm), by w Chinach i Korei znowu trafić na linie normalnotorowe (1435 mm). Jeszcze szersze tory są w Hiszpanii i Portugalii – 1668 mm. Różnice te stwarzają poważne utrudnienia eksploatacyjne, bowiem na styku torów o różnej szerokości towar trzeba przeładować, albo dokonać wymiany zespołów biegowych pojazdu szynowego. Operacje te są kosztowne, czasochłonne i wymagają rozbudowanej infrastruktury w punktach granicznych wraz z całym, bardzo drogim zapleczem magazynowo-przeładunkowym. Ponadto, operacje te znacznie wydłużają czas transportu.

Analiza stanu istniejącego w kolejowych przewozach ze zmianą szerokości torów wykazała, że szczególnie wymagający usprawnienia, jest system przewozów przestawczych stosowany w transporcie materiałów niebezpiecznych (towarów chemicznych, produktów ropopochodnych). Obecne rozwiązania stosowane w punktach granicznych na wschodniej granicy Polski, dla tej grupy ładunkowej, charakteryzują się niską niezawodnością, są mało efektywne oraz stwarzają poważne zagrożenie dla środowiska i bezpieczeństwa otoczenia systemu [8, 9].

1. SYSTEMY PODLEGAJĄCE ANALIZIE

W kolejowych systemach ze zmianą szerokości torów transport towarów może odbywać się z wykorzystaniem technologii przeładunkowej lub przestawczej. W technologii przestawczej przewóz odbywa się w tym samym środku transportowym, który jest przestawiany w punkcie granicznym z jednej szerokości toru na drugą. Niniejszy artykuł dotyczy oceny niezawodności i efektywności dwóch wybranych systemów przestawczych, stosowanych w transporcie materiałów niebezpiecznych:

- system 1, w którym zmiana szerokości torów odbywa się poprzez aktualnie stosowaną wymianę wózków wagonowych z podniesieniem nadwozia wagonu;
- system 2, w którym zmiana szerokości torów odbywa się przy zastosowaniu perspektywicznej metody – samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych SUW 2000.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry ilościowo-jakościowe charakteryzujące proces obsługi w analizowanych systemach. W analizie pominięto czas operacji związanych z przyjęciem pociągu tj. czas sprawdzenia zabezpieczeń, sprawdzenia zgodności dokumentów przewozowych, odprawą celną i ważeniem wagonów.

Tabela 1. Charakterystyka procesu obsługi w punktach styku 1435/1520 mm [9]

System	Grupa przestawcza	Wyposażenie punktu granicznego	Sredni czas obsługi	Średni czas wymiany grupy przestawczej	Ilość grup na dobę	Zdolność przestawcza
	[wagony]	[-]	[min]	[min]	[-]	[wag./dobę]
1	10	10 stanowisk z podnośnikami	200,0	25,0	3	30,0
2	cały skład pociągu	torowe stanowisko przestawcze	6,0	25,0	46	1380,0

2. OCENA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW

Dla analizowanych systemów zastosowano kompleksową metodę oceny niezawodności, w której uwzględniono takie cechy systemów jak: uszkodzalność, trwałość, obsługiwalność i gotowość techniczną. Podstawą do oceny niezawodności systemów były dane eksploatacyjne zebrane w rzeczywistych warunkach pracy, obejmujących dla systemu wymiany wózków około 7 lat, a dla systemu samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych prawie 4 lata eksploatacji. Umożliwiło to obserwację przebiegu eksploatacji elementów systemów w różnorodnych warunkach, a tym samym pozyskanie wiarygodnych danych do oceny niezawodnościowej.

2.1. Założenia i struktura analizowanych systemów

Ocena niezawodności rozpatrywanych systemów miała charakter porównawczy, więc z analizy, a tym samym ze struktury niezawodnościowej, wyłączono elementy wspólne, które mają taki sam wpływ w jednym i drugim systemie np.: infrastrukturę kolejową 1435 i 1520 mm, pojazdy trakcyjne i inne. Ośrodek zainteresowania w porównywanych systemach stanowiły elementy wyposażenia technicznego punktów styku różnej szerokości torów oraz taboru kolejowego zaangażowanego w procesie transportowym.

W systemie 1 do przestawienia wagonu z jednej szerokości toru na drugą stosowane są stanowiska wymiany wózków wagonowych wraz ze współpracującymi suwnicami bramowymi. W systemie 2, rozbudowana infrastruktura techniczna punktu wymiany wózków zastąpiona jest torowym stanowiskiem przestawczym. Odnośnie taboru kolejowego najistotniejsze różnice w zakresie oceny niezawodności dotyczą wózków wagonowych. W systemie 1 do realizacji przewozów po różnej szerokości torów wymagane są dwa komplety wózków przypisane do jednego wagonu: jeden na tor 1435 i drugi na 1520 mm, które wymieniane są w punkcie granicznym. W systemie 2 natomiast, stosowany jest jeden rodzaj wózków wypo-

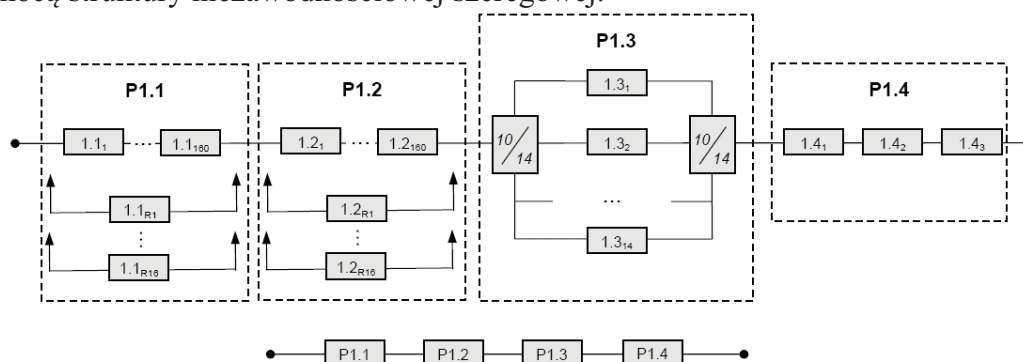
sażony w zestawy kołowe o zmiennym rozstawie kół, umożliwiające kursowanie wagonu po sieci kolejowej 1435 i 1520 mm.

Tabela 2. Założenia do analizy niezawodnościowej [4]

Lp.	ELEMENT	ZAŁOŻENIA
1.	Rodzaj przewożonego ładunku	materiały niebezpieczne w wagonach cysternach
2.	Ilość wagonów przestawionych w punkcie styku 1435/1520 mm	5483,0 [wag./rok]
3.	Ładowność przestawianego wagonu	48,0 [ton]
4.	Obrót wagonu: - system 1 - system 2	10,6 [dni] 8,0 [dni]
5.	Odległość przewozu (w jedną stronę, w połowie po torze 1435 mm i 1520 mm)	1100,0 km
6.	Czas eksploatacji systemów	25 lat

Założenia przedstawione w tabeli 2, w połączeniu z analizą stanu rzeczywistego, umożliwiają określenie liczności elementów wchodzących w skład systemu 1 i 2 oraz ich struktur niezawodnościowych. Struktura niezawodnościowa systemu 1 (rys. 1) została odwzorowana poprzez szeregowe połączenie czterech podsystemów P1.1, P1.2, P1.3 i P1.4:

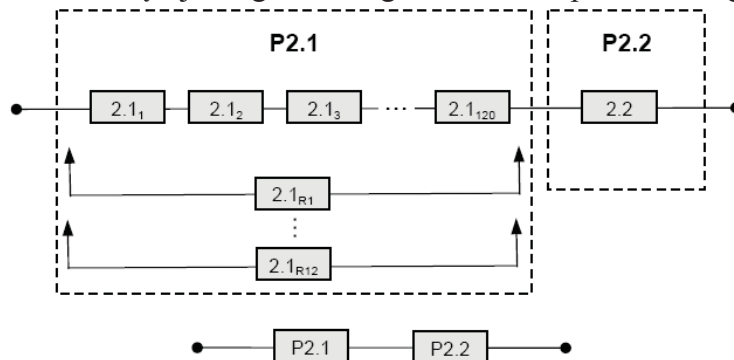
- podsystem P1.1 składa się łącznie ze 176 wózków typu 2XTa na tor 1435 mm (element 1.1), które tworzą strukturę niezawodnościową z rezerwą przesuwającą się o krotności rezerwowania $k = 10$. Oznacza to, że dla 160 wózków podstawowych założono rezerwę eksploatacyjną 16 elementów, z których każdy może zastąpić dowolny wózek podstawowy w przypadku jego uszkodzenia;
- podsystem P1.2 składa się łącznie ze 176 wózków typu 18-100 na tor 1520 mm (element 1.2), które analogicznie jak podsystem P1.1, odwzorowano strukturą niezawodnościową z rezerwą przesuwającą się o krotności rezerwowania $k = 10$. W analizie podsystemów P1.1 i P1.2 zakłada się, że wózki rezerwowe nie mogą ulec uszkodzeniom, gdy nie pracują i że przebywanie wózka w stanie, w którym nie pracuje nie wpływa na jego niezawodność. Poza tym zakłada się, że czas w przeciągu, którego wózek uszkodzony zostaje zamienionym elementem rezerwowym, jest praktycznie równy zeru oraz urządzenie przełączające jest absolutnie niezawodne;
- podsystem P1.3 składa się z 14 stanowisk wymiany wózków (element 1.3), które odwzorowano jako strukturę progową typu 10 z 14. Do uzyskania założonej rocznej ilości przestawianych wagonów w punkcie granicznym, niezbędnych jest co najmniej 10 stanowisk. Struktura progowa 10 z 14 oznacza, że podsystem P1.3 znajduje się w stanie poprawnej pracy, kiedy co najmniej 10 z 14 stanowisk wymiany wózków prawidłowo wykonuje przypisane im funkcje;
- podsystem P1.4 składa się z 3 suwnic bramowych (element 1.4), które odwzorowano za pomocą struktury niezawodnościowej szeregowej.



Rys. 1. Struktura niezawodnościowa systemu 1: P1.1, P1.2, P1.3, P1.4 – podsystemy systemu 1, 1.1 - wózki wagonowe typu 2XTa 1435 mm, 1.2 - wózki wagonowe typu 18-100 1520 mm, 1.3 - stanowiska wymiany wózków, 1.4 - suwnice bramowe

Struktura niezawodnościowa systemu 2 (rys. 2) została odwzorowana poprzez szeregowe połączenie dwóch podsystemów P2.1 i P2.2:

- podsystem P2.1 składa się łącznie ze 132 wózków typu 4RS/N na tor 1435 i 1520 mm (element 2.1), które tworzą strukturę niezawodnościową z rezerwą przesuwającą się o krotności rezerwowania $k = 10$. Oznacza to, że dla 120 wózków 4RS/N założono rezerwę eksploatacyjną 12 elementów, z których każdy może zastąpić dowolny wózek podstawowy w przypadku jego uszkodzenia. Podobnie jak dla podsystemów P1.1 i P1.2 w systemie 1, zakłada się, że czas w przeciągu, którego uszkodzony wózek zostaje zamienionym elementem rezerwowym, jest praktycznie równy zeru oraz urządzenie przełączające jest absolutnie niezawodne;
- podsystem P2.2 składa się z jednego torowego stanowiska przestawczego (element 2.2).



Rys. 2. Struktura niezawodnościowa systemu 2: P2.1, P2.2 – podsystemy systemu 2, 2.1) Wózki wagonowe typu 4RS/N z zestawami przestawnymi, 2.2) Torowe stanowisko przestawcze

2.2. Wskaźniki zastosowane do oceny niezawodnościowej

Ilościowo niezawodność systemu wyraża się za pomocą wskaźników niezawodnościowych. Kolejowe systemy przestawcze, będące przedmiotem analizy w niniejszej pracy, składają się z elementów nieodnawialnych i odnawialnych. Jako całość systemy te należą do grupy obiektów odnawialnych, gdyż po wymianie uszkodzonego elementu nieodnawialnego lub naprawie elementu odnawialnego system odzyskuje utracony przejściowo stan zdatności. Przy analizie niezawodności nie jest istotne, w jaki sposób zachodzi odnowa, czy poprzez wymianę uszkodzonego elementu na nowy, czy poprzez jego naprawę. Również czas odnowy, na który składa się między innymi: czas diagnozowania uszkodzenia, czas niezbędny na gromadzenie materiałów i części zamiennych do naprawy oraz czas czynności naprawczych, traktuje się jako całość. Podstawową charakterystyką obiektów odnawialnych jest funkcja odnowy $H(t)$. Dla obiektów, których czas trwania odnowy jest pomijalnie mały do czasu poprawnej pracy, $H(t)$ przedstawia oczekiwaną liczbę odnów równoważną z liczbą uszkodzeń do chwili t i definiowana jest następująco [2]:

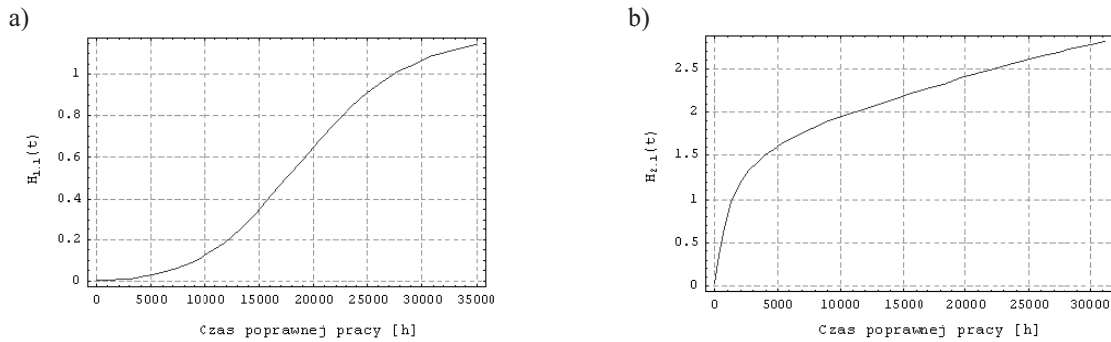
$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \quad (1)$$

gdzie:

$F_n(t)$ – dystrybuanta czasu pracy obiektu do wystąpienia n -tego uszkodzenia

$$F_n(t) = \int_0^t F_{n-1}(t-x) dF(x); \quad F_1(t) = F(t) \quad (2)$$

Na rys. 3 przedstawiono funkcje odnowy dla wybranych elementów analizowanych systemów: standardowego wózka 2XTa (system 1) i wózka typu 4RS/N z zestawami przestawnymi (system 2).



Rys. 3. a) Funkcja odnowy wózka 2XTa, b) Funkcja odnowy wózka 4RS/N

Poza funkcją odnowy w przyjętej metodzie oceny niezawodności zastosowano następujący zestaw wskaźników:

- intensywność (parametr) strumienia uszkodzeń $z(t)$;
- oczekiwany czas do pierwszego uszkodzenia MTTF;
- oczekiwany czas poprawnej pracy od chwili zakończenia „k-1” odnowy do uszkodzenia o numerze „k” MTBF_k;
- dystrybuanta czasu usuwania uszkodzenia (odnowy) $G(t)$;
- oczekiwany czas usuwania uszkodzenia MTTR;
- stacjonarny wskaźnik gotowości operacyjnej A_0 i gotowości rzeczywistej A_R .

Definicje powyższych wskaźników są dostępne w normach oraz obszernej literaturze z zakresu trwałości i niezawodności m. in.: [1, 2, 3, 6]. Obliczenia natomiast zamieszczone są w pracach naukowych [4, 9].

Podstawowe charakterystyki niezawodnościowe odnoszące się do systemu składającego się z n elementów, z których każdy pracuje i jest odnawiany niezależnie od pozostałych, połączonych szeregowo można przedstawić następująco:

- Zmienna losowa przedstawiająca liczbę uszkodzeń systemu $N_S(t)$ do chwili „t”:

$$N_S(t) = N_1(t) + N_2(t) + \dots + N_i(t) + \dots + N_n(t) \quad (3)$$

gdzie:

$N_i(t)$ – zmienna losowa oznaczająca liczbę uszkodzeń i-tego elementu do chwili „t”

- Średnia liczba uszkodzeń systemu do chwili t (funkcja odnowy) $H_S(t)$:

$$H_S(t) = E[N(t)] = \sum_{i=1}^n E[N_i(t)] = \sum_{i=1}^n H_i(t) \quad (4)$$

gdzie:

$H_i(t)$ – funkcja odnowy i-tego elementu systemu

- Gotowość techniczna systemu A_S :

$$A_S = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

gdzie:

A_i – gotowość techniczna i-tego elementu systemu

2.3. Porównanie niezawodności systemów

Na rysunkach 4a-d za pomocą wybranych wskaźników niezawodnościowych porównano nieuszkodzalność, trwałość, obsługiwalność oraz gotowość systemu 1 i 2. Do porównania

nieuszkodzalności zastosowano wskaźnik średniej liczby uszkodzeń systemu w jednym roku eksploatacji (FR), który w odniesieniu do pojedynczego elementu zdefiniowano następująco:

$$FR_i = \left(\frac{H_i(t)}{T_i} \right) \cdot 8.760,0 \left[\frac{uszk}{rok} \right] \quad (6)$$

gdzie:

FR_i – średnia liczba uszkodzeń i-tego elementu w jednym roku eksploatacji,

$H_i(t)$ – funkcja odnowy i-tego elementu w cyklu utrzymania,

T_i – czas eksploatacji i-tego elementu w cyklu utrzymania (w godz.).

Do porównania trwałości systemów zastosowano wskaźniki: MTTF – oczekiwany czas pracy do pierwszego uszkodzenia i MTBF – oczekiwany czas pracy między uszkodzeniami.

Do porównania obsługiwalności zastosowano wskaźnik średniego, skumulowanego czasu obsług technicznych systemu w jednym roku eksploatacji (MR), który uwzględnia łączny czas poświęcony na obsługi bieżące i profilaktyczne elementów systemu. W odniesieniu do pojedynczego elementu wskaźnik ten zdefiniowano następująco:

$$MR_i = \left(\frac{TN_i + TO_i}{T_i} \right) \cdot 8.760,0 \left[\frac{h}{rok} \right] \quad (7)$$

gdzie:

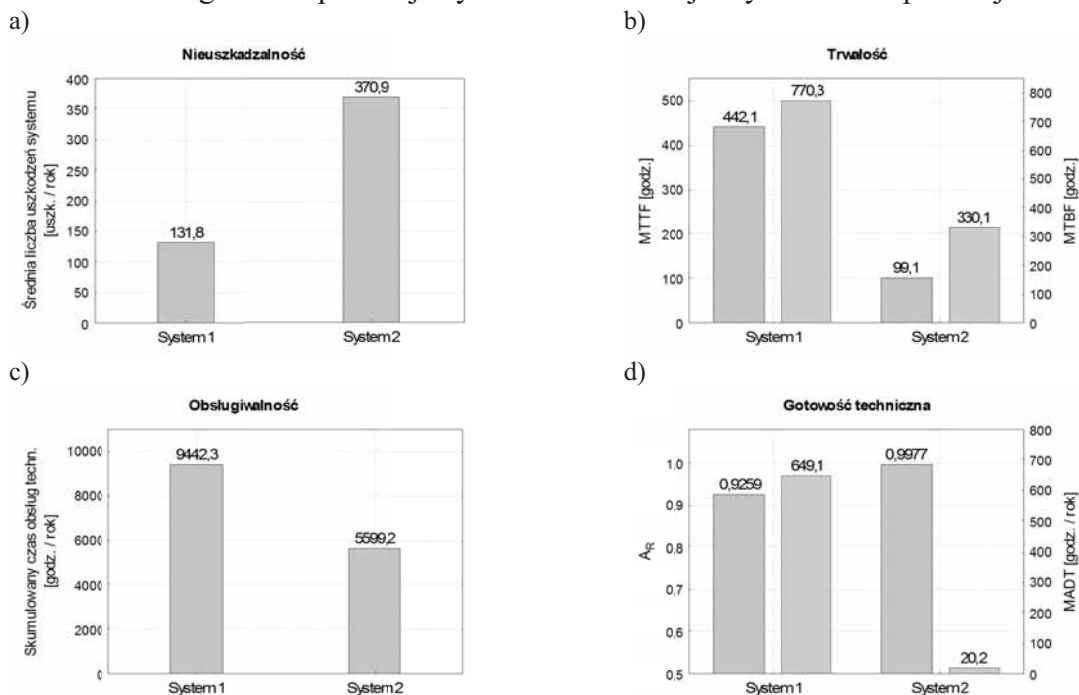
MR_i – średni, skumulowany czas obsług technicznych i-tego elementu w roku eksploatacji,

TN_i – średni czas napraw bieżących w cyklu utrzymania i-tego elementu,

TO_i – średni czas obsług profilaktycznych w cyklu utrzymania i-tego elementu,

T_i – czas eksploatacji i-tego elementu w cyklu utrzymania (w godz.).

Do porównania gotowości technicznej zastosowano wskaźniki gotowości rzeczywistej A_R i skumulowanego czasu przestoju systemu MADT w jednym roku eksploatacji.



Rys. 4. Porównanie nieuszkodzalności, trwałości, obsługiwalności oraz gotowości systemów

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że system 2 charakteryzuje się wyższą uszkodzalnością w porównaniu do systemu 1. Przy uwzględnieniu uszkodzeń elementów podstawowych i rezerwowych, średnia liczba uszkodzeń systemu 2 (FR_2), jest 2,8 razy większa w porównaniu do systemu 1 (rys. 4a). Stąd, pośrednio wynika niższa trwałość systemu 2. Przy założeniu 10% rezerwy nieobciążonej dla wózków 4RS/N, uszkodzenia w systemie występują średnio po 330 godzinach pracy, podczas gdy w systemie 1, średni czas między uszkodzeniami ($MTBF_1$) jest ponad dwukrotnie większy (rys. 4b). Średnia liczba uszkodzeń jest jednak niewystarczająca do kompleksowej oceny niezawodności kolejowych systemów przestawczych. Ważna jest nie tylko ilość i częstość występowania uszkodzeń, ale również ich rodzaj i co za tym idzie czas poświęcony na ich usunięcie. Na rys. 4c przedstawiono, że pomimo wyższej uszkodzalności, skumulowany czas obsługi technicznych w systemie 2 (MR_2), jest o 40% mniejszy jak dla systemu 1. Z porównania gotowości wynika, że system 2 charakteryzuje się wyższym wskaźnikiem gotowości technicznej (AR_2) i ponad 30-krotnie krótszym czasem przestoju technicznych ($MADT_2$) w porównaniu do systemu 1 (rys. 4d).

3. OCENA EFEKTYWNOŚCI SYSTEMÓW

Do porównania efektywności kolejowych systemów przestawczych, charakteryzujących się różnymi niezawodnościami, zastosowano model LCC (Life Cycle Cost). Jako miarę efektywności ekonomicznej przyjęto całkowity koszt funkcjonowania systemu tzw. koszt cyklu trwałości (LCC) obliczony w 25-letnim okresie eksploatacji [5, 10]. W analizie zastosowano procedurę zgodną z zaleceniami proponowanymi w normie PN-EN 60300-3-3 „Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań - Szacowanie kosztu cyklu życia”. Metoda ta, została opisana przez autora w pracy [9]. Podstawę do budowy modelu kosztu stanowią parametry związane z nieuszkodzalnością, trwałością, obsługiwalnością i gotowością, wyznaczone w ramach analizy niezawodnościowej.

3.1. Model kosztu cyklu trwałości

Dla analizowanych systemów opracowano wspólny model kosztów, w którym LCC wyrażono następującą formułą:

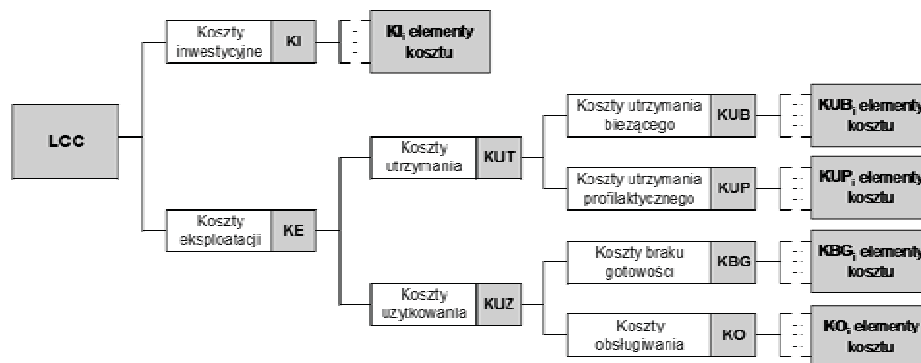
$$LCC = KI + KE \quad (8)$$

gdzie:

KI – koszty inwestycyjne systemu,

KE – koszty eksploatacji systemu.

Koszty inwestycyjne (KI) to suma nakładów kapitałowych niezbędnych do realizacji przewozów w danym systemie. Koszty eksploatacji (KE) stanowią koszty utrzymania i użytkowania systemu. Analiza miała charakter porównawczy, więc w modelu kosztów uwzględniono tylko te kategorie, które są różne dla ocenianych systemów. Strukturę kosztów przyjętą w analizie przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Struktura kosztów w modelu LCC analizowanych systemów [9].

Jednym z najważniejszych zadań w modelowaniu LCC jest definicja struktury podziału kosztu, która polega na dekompozycji kategorii kosztów na najwyższym poziomie, które wynikają z przyjętej formuły na LCC, na koszty składowe. Każda kategoria kosztu powinna zostać podzielona aż do osiągnięcia najniższego poziomu tzw. elementu kosztu. Element kosztu jest to taka wartość, której nie można wyrazić jako sumę innych kosztów. Jest on definiowany za pomocą matematycznych formuł zawierających parametry, wartości stałe lub funkcje. Takie podejście ma tę zaletę, że jest usystematyzowane i uporządkowane, a zatem dające wysoki poziom ufności, że wszystkie elementy kosztu mające duże znaczenie w LCC zostały uwzględnione. Koncepcję definiowania elementów kosztu w modelu LCC można znaleźć m. in. w jednym z programów Ministerstwa Obrony USA Integrated Logistics Support (Dyrektywa DOD 4100.35 1968 r.) oraz w normie PN-EN 60300-3-3 z 2006 roku [4, 5, 7].

W zastosowanym modelu, jednym z elementów kosztu były koszty utrzymania bieżącego (KUB) związane z naprawami bieżącymi wykonywanymi po wystąpieniu uszkodzenia elementu systemu. KUB uwzględniają zarówno koszty robocizny jak i koszty materiałów, części zamiennych. Do wyznaczenia KUB wykorzystano funkcje odnowy $H(t)$ wyznaczone w ramach analizy niezawodnościowej. Koszty utrzymania bieżącego dla pojedynczego elementu systemu (KUB_n) wyrażono następującą formułą:

$$KUB_n = [H_n(t_i) - H_n(t_{i-1})] \cdot [(MMH_n \cdot CPH_n) + ACM_n] \quad [zł/rok] \quad (9)$$

gdzie:

$H_n(t_i)$ – wartość funkcji odnowy n-tego elementu w i-tym roku eksploatacji;

MMH_n – średnia pracochłonność naprawy bieżącej n-tego elementu;

CPH_n – koszt roboczogodziny przy naprawie bieżącej n-tego elementu;

ACM_n – średni koszt zużycia materiałów w naprawie bieżącej.

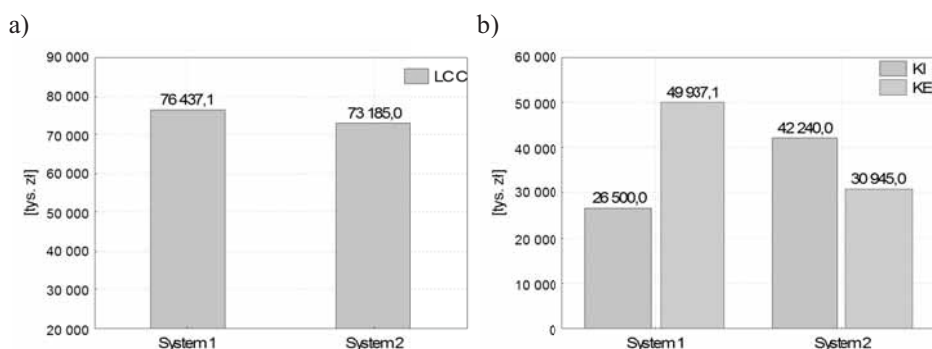
Ogólnie, w modelu LCC zastosowano 19 elementów kosztów, zdefiniowanych na 54 parametrach i funkcjach. Kalkulację LCC oparto na niezdykontowanych wartościach kosztów. Wycenę elementów kosztu oparto o ceny stałe (netto) z poziomu 2008 roku.

3.2. Analiza modelu LCC

Analiza modelu LCC wykonana z zastosowaniem oprogramowania CATLOC wykazała, że zastosowanie systemu samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych SUW 2000 w przewozie materiałów niebezpiecznych, w porównaniu do aktualnie stosowanej wymiany wózków wagonowych, zapewnia zdecydowanie wyższą efektywność systemu transportowego. Na rysunku 6a porównano LCC systemu 1 i 2 obliczone dla okresu 25 lat eksploatacji. LCC systemu 2 jest o 3,2 mln zł niższe w porównaniu do systemu 1. Z rysunku 6b, na którym przedstawiono strukturę LCC można odczytać, że pomimo zdecydowanie wyższych kosztów inwestycyjnych w systemie 2, osiągnięte są znaczące oszczędności wynoszące ponad 18,9 mln zł w kosztach eksploatacji [9].

W celu oszacowania wpływu zmian parametrów i elementów kosztów na LCC przeprowadzono analizę wrażliwości. W systemie 2, w którym stosowane są samoczynnie rozsuwane zestawy kołowe SUW 2000, obejmowała ona następujące parametry:

- średnią liczbę uszkodzeń elementów systemu;
- gotowość techniczną podsystemów;
- pracochłonność napraw bieżących elementów systemu;
- pracochłonność obsługi profilaktycznych elementów systemu;
- koszt roboczogodziny przy obsługach profilaktycznych i bieżących;
- koszt przestoju systemu;
- koszt wózka z zestawami przestawnymi.



Rys. 6. a) Koszt cyklu trwałości LCC, b) Koszty inwestycyjne KI i koszty eksploatacji KE

Analiza wrażliwości wykazała, że czynnikiem decydującym w największym stopniu o efektywności ekonomicznej zastosowania systemu SUW 2000 w transporcie materiałów niebezpiecznych jest koszt wózka z zestawami przestawnymi. Obniżenie aktualnej ceny wózka o 20% wpływa na obniżenie LCC systemu o 11,5%, czyli ponad 8,5 mln zł. Z parametrów niezawodnościowych bardzo istotny jest wskaźnik gotowości technicznej podsystemów oraz średnia liczba uszkodzeń elementów systemu. Podwyższenie nieuszkodzalności systemu o 20%, poprzez zwiększenie niezawodności wózków wyposażonych w zestawy przestawne, wpływa na obniżenie LCC o 2,6% czyli 1,9 mln zł. Analiza wrażliwości wykazała ponadto, że przy aktualnie oferowanej cenie wózka z zestawami przestawnymi i obliczonych parametrach niezawodnościowych, efektywność systemu SUW 2000 jest ograniczona długością relacji transportowej do 1460 km [4, 9].

PODSUMOWANIE

Niezawodny oraz efektywny system transportu kolejowego jest podstawą rozwoju gospodarczego i wymiany handlowej pomiędzy krajami Europy i Azji. Prace nad nowymi bardziej efektywnymi, niż dotychczas stosowane, metodami pokonywania różnic szerokości toru wydają się konieczne. W artykule przedstawiono zwięzłe porównanie niezawodności i efektywności dwóch wybranych systemów ze zmianą szerokości torów stosowanych w transporcie materiałów niebezpiecznych. Do oceny efektywności zastosowano analizę LCC, jako metodę pozwalającą na kompleksową ocenę, uwzględniającą wszystkie fazy życia przedsięwzięcia. Analiza wykazała, że poziom niezawodności systemu samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych SUW 2000 jest zadowalający i jest on konkurencyjny do wymiany wózków wagonowych. Zastosowanie samoczynnie rozsuwanych zestawów kołowych jest ekonomicznie uzasadnione dla relacji transportowych o długości poniżej 1500 km.

BIBLIOGRAFIA

1. Adamkiewicz W, Hempel L, Podsiadło A, Śliwiński R.: *Badania i ocena niezawodności maszyny w systemie transportowym*. WKiŁ, Warszawa, 1983.
2. Gniedenko B. W., Bielajew J. K., Sołowiew A. D.: *Metody matematyczne w teorii niezawodności*. WNT, Warszawa, 1968.
3. Hebda M., Janicki D.: *Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji*. WKiŁ, Warszawa, 1977.
4. *Kryterialna ocena kolejowych systemów przestawczych z zastosowaniem analizy LCC*. Projekt badawczy nr NB-2/2008 (M8/14/2008). Politechnika Krakowska Instytut Pojazdów Szynowych, Kraków, styczeń 2008.
5. PN-EN 60300-3-3 Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań - szacowanie kosztu cyklu życia.

6. PN-EN 61703:2002 Wyrażenia matematyczne dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi.
7. Szkoda M., Tułeczki A.: *Decision models in effectiveness evaluation of Europe-Asia transportation systems*. Materiały konferencyjne: The 8-th World Congress on Railway Research WCRR 2008, Seul, Korea, 2008.
8. Szkoda M.: *Analiza organizacyjno-ekonomiczna możliwości zastosowania systemu automatycznej zmiany rozstawu kół w przewozach towarowych Wschód-Zachód*. Problemy Eksploatacji 2003, nr 2.
9. Szkoda M.: *Metoda oceny trwałości i niezawodności kolejowych systemów przestawczych*. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Kraków, 2008.
10. Tułeczki A.: Life Cycle Cost (LCC) jako miara efektywności środków transportu szynowego. Pojazdy Szynowe 1999 nr 10.

RELIABILITY AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE TRACK GAUGE CHANGE SYSTEMS IN THE TRANSPORT OF HAZARDOUS MATERIALS

Abstract

The paper is based on the research work done at the Institute of Rail Vehicles, Cracow University of Technology, on the assessment of the reliability and efficiency of the 1435/1520 mm track gauge change systems. The efficiency of these systems depends considerably on the gauge change method relating to complex handling and track gauge change operations. The Life Cycle Cost (LCC) analysis served as the basis for a comparative analysis of the reliability and efficiency of the transport of hazardous materials with the use of the currently applied technology: wagon bogie exchange, and the technology of the future: the SUW 2000 system of self-adjusted wheel sets.

Recenzent: dr hab. inż. Grzegorz Koralewski, prof. WSEI

Autor:

dr inż. Maciej SZKODA - Politechnika Krakowska