

Izabela DZIADUCH*

OCENA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACJI AUTOBUSU SZYNOWEGO

Streszczenie

W artykule wskazano parametry charakteryzujące proces użytkowania i proces obsługi autobusu szynowego. Zdefiniowano wskaźniki, które umożliwiają pomiar efektywności tego typu obiektów technicznych oraz pomagają w ich doborze i funkcjonowaniu. Następnie za pomocą wybranych wskaźników eksploatacyjno-ekonomicznych zbadano efektywność eksploatacji autobusu szynowego.

Słowa kluczowe: efektywność, koszt eksploatacji, optymalizacja (minimalizacja)

1. WPROWADZENIE

Termin efektywność pojawia się w licznych opracowaniach naukowych i na ogół pojęcie to ma charakter postulatu odnoszącego się do przedsiębiorstwa jako całości. W kwestii definicyjnej – efektywność jest postrzegana jako sposób pomiaru skuteczności i celowości danego działania wyrażający się porównaniem (relacją) wartości uzyskanych efektów do nakładów użytych do ich uzyskania. Relacje między nakładami a efektami najczęściej definiuje się w literaturze poprzez wyrażenia [10]:

$$P - K - I \text{ lub } \frac{P - K}{I} \text{ lub } \frac{I + K}{P} \text{ lub } \frac{P}{I + K} \quad (1)$$

gdzie:

P – efekt produkcji,

K – koszt eksploatacji,

I – nakład inwestycyjny.

Efektywność objawia się w postaci korzystności działania, która ma miejsce wtedy, gdy efekty są większe od nakładów, inaczej mówiąc, działanie jest efektywne jeśli przynosi pozytywny wynik (korzyść).

Podstawowym działaniem każdego przedsiębiorstwa jest proces produkcji. W tym procesie pracownicy, oddziałując za pomocą maszyn, urządzeń i narzędzi na surowce i materiały, wytwarzają wyroby lub środków transportu świadczą usługi, które są sprzedawane na rynku. Efekty (korzyści) są zatem w dużej mierze wypracowywane przez obiekty techniczne (maszyny, urządzenia, środki transportu itp.), bez których realizacja procesu produkcyjnego nie byłaby możliwa, dlatego też - w pierwszej kolejności - to ich efektywność powinna być oceniana.

Celem artykułu jest przedstawienie wskaźników przy użyciu których możliwa jest ocena efektywności kosztowej eksploatacji obiektu technicznego. Artykuł składa się z wprowadzenia, trzech części i podsumowania. W pierwszej części artykułu zidentyfikowano parametry charakteryzujące proces użytkowania i proces obsługi obiektu technicznego,

* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

w drugiej części natomiast wskaźniki badające efektywność ich eksploatacji. Wyniki oceny efektywności eksploatacji autobusów szynowych, przeprowadzonej na podstawie wybranych mierników i wskaźników zaprezentowano w ostatniej części artykułu.

2. PARAMETRY PROCESU EKSPLOATACJI AUTOBUSU SZYNOWEGO

Autobus szynowy, potocznie zwany szynobusem, podobnie jak każdy inny obiekt techniczny w systemie eksploatacji jest charakteryzowany pewnymi wielkościami, które nazywa się parametrami. Parametry obiektu technicznego to wielkości określające jego właściwości istotne dla realizacji eksploatacji, które w zależności od potrzeby można grupować według różnych kategorii [4], [6], [12].

Wielkości te powinny spełniać następujące funkcje [4]:

1. Informować eksploatatora obiektu o jego właściwościach funkcjonalnych, eksploatacyjnych i technicznych.
2. Pozwalać na porównanie danego obiektu z innymi obiektami tej klasy, w celu dokonania optymalnego (najlepszego) wyboru.
3. Pozwalać na oszacowanie kosztów eksploatacji obiektu technicznego w określonym przedziale przebiegu w km, ponoszonych na materiały eksploatacyjne (paliwo, oleje, smary itp.) oraz obsługi profilaktyczne i korekcyjne.

Ze względu na cel niniejszego artykułu, którym jest – jak wspomniano we wstępie - ocena efektywności eksploatacji autobusów szynowych, dalsza część rozdziału poświęcona została parametrom związanym z procesem eksploatacji¹ tego typu obiektów technicznych (z rozważań wyłączono zatem ich parametry funkcjonalne i parametry techniczne).

Zasadniczo parametry eksploatacyjne obiektów technicznych można podzielić na dwie grupy:

- parametry odwzorowujące właściwości użytkowe obiektu technicznego,
- parametry charakteryzujące właściwości obsługowo-naprawcze obiektu.

Wśród wymienionych wyżej grup parametrów znajdują się wielkości „robocze” i wielkości czasowe, które charakteryzują właściwości użytkowe i/lub obsługowo-naprawcze obiektu technicznego oraz parametry kosztowe określające wszelkie wydatki związane z jego zakupem i eksploatacją. Warto dodać, że w zależności od celu badawczego, właściwości eksploatacyjne obiektu technicznego można opisać również innymi parametrami dodatkowymi [4].

Proponowany zbiór parametrów procesu eksploatacji dla autobusu szynowego podano w tabelicy 1. Nadmienić należy, że wyróżnione w tabelicy 1 parametry mogą być zastosowane do opisanego procesu użytkowania i procesu obsługi zarówno pojedynczego obiektu jak i grupy obiektów technicznych (tej samej klasy).

Analizując tabelicę 1 można wywnioskować, że parametry to w zasadzie odpowiedniki mierników, które odzwierciedlają stany rzeczywiste procesu eksploatacji. Są one bezwzględными wielkościami informacyjnymi, na ogół nie mającymi charakteru oceniającego i porównawczego. Na ich podstawie jednak można zbudować wskaźniki, które określą czy eksploatacja obiektu technicznego jest efektywna czy też nie.

¹ Proces eksploatacji jest to *proces zmian własności obiektów, zarówno pozytywnych jak i negatywnych (z punktu widzenia efektywności wykonywania zadań)* [13].

Tablica 1. Zbiór parametrów eksploatacyjnych autobusu szynowego

Nazwa parametru	Symbol	Wzór obliczeniowy	J.m.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Parametry procesu użytkowania			
Czas przebywania autobusu szynowego w stanie zdatności	T_z	$T_{pr} + T_{poz}$	dni
Czas pracy autobusu szynowego	T_{pr}	$T_w + T_{ej} + T_{jj}$	h
Czas wymiany pasażerów	T_w		h
Czas efektywnej jazdy	T_{ej}		h
Czas jazdy jałowej	T_{jj}		h
Czas ruchu autobusu szynowego	T_r	$T_{ej} + T_{jj}$	h
Przebieg autobusu szynowego z pasażerami	p_p		km (poc.km)
Przebieg autobusu szynowego	p		km
Liczba pasażerów przewiezionych autobusem szynowym	Q		pas.
Liczba pasażerokilometrów wykonanych przez autobus szynowy	L_{pkm}	$Q \cdot p_p$	pkm
Czas postoju autobusu szynowego zdanego technicznie, w oczekiwaniu na użytkowanie	T_{poz}		dni
Ilość tankowanego paliwa	S		l
Koszty energii (oleju napędowego)	K_p		zł
Koszt robocizny personelu bezpośrednio użytkującego autobus szynowy	K_{rpu}		zł
Koszt własny 1 h lub 1 km dnia pracy autobusu szynowego	K_{wdp}		zł
Koszt amortyzacji jazdy autobusu szynowego	K_a		zł
Przychód eksploatacyjny otrzymywany za zużycie potencjału eksploatacyjnego autobusu szynowego	P_E		zł
Parametry procesu obsługi			
Rodzaj obsługi profilaktycznej	i	$i = 1, 2, \dots, I$	-
Liczba obsług profilaktycznych <i>i</i> -tego rodzaju	L_{OP}^i		-
Czas oczekiwania na <i>i</i> -tego rodzaju obsługę profilaktyczną	T_{OOP}^i		h, dni
Czas trwania obsługi profilaktycznej <i>i</i> -tego rodzaju	T_{EOP}^i		h, rbh
Czas postoju autobusu szynowego w obsłudze profilaktycznej <i>i</i> -tego rodzaju	T_{OP}^i	$T_{OOP}^i + T_{EOP}^i$	h, dni
Przebieg między obsługami profilaktycznymi <i>i</i> -tego rodzaju	p_{OP}^i		km
Przebieg do pierwszej planowanej naprawy głównej	p_{NG}		km
Koszt robocizny <i>i</i> -tego rodzaju obsług profilaktycznych	Kr_{OP}^i		zł/h, zł/rbh
Koszt części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych zużytych w <i>i</i> -tym rodzaju obsługi profilaktycznej	KCz_{OP}^i		zł
Postać uszkodzenia	r	$r = 1, 2, \dots, R$	-
Liczba uszkodzeń <i>r</i> -tej postaci	n_u^r		-
Czas oczekiwania na naprawę <i>r</i> -tej postaci uszkodzenia	T_{OOK}^r		h, dni

Czas trwania naprawy r -tej postaci uszkodzenia	T_{EOK}^r		h, rbh
1	2	3	4
Czas postoju autobusu szynowego w naprawie spowodowanej r -tą postacią uszkodzenia	T_{OK}^r	$T_{OOK}^r + T_{EOK}^r$	h, dni
Czas do pierwszego uszkodzenia	P_{1OK}		dni, km
Czas do pierwszego uszkodzenia r -tej postaci	P_{1OK}^r		dni, km
Czas między uszkodzeniami r -tej postaci	P_{OK}^r		dni, km
Czas między uszkodzeniami	P_{OK}		dni, km
Koszt robocizny r -tej postaci uszkodzenia	Kr_{OK}^r		zł/h, zł/rbh
Koszt części zamiennych zużytych przy r -tej obsłudze korekcyjnej	Kcz_{OK}^r		zł
Czas przebywania autobusu szynowego w stanie niezdatności spowodowanym obsługami profilaktycznymi i korekcyjnymi	T_{nz}		dni
Koszty „strat produkcyjnych” wynikających z r -tej postaci uszkodzeń	K_{SP}		zł
Koszty wtórne (np. kary z powodu niegotowości obiektu), spowodowane wystąpieniem r -tej postaci uszkodzenia	K_W		zł
Parametry dodatkowe			
Okres badawczy	t		dni
Okres trwałości autobusu szynowego	T		lata
Koszt (cena) zakupu nowego autobusu szynowego	C_z		zł

Źródło: Opracowanie własne

3. WSKAŹNIKI OCENY EKSPLOATACJI OBIEKTU TECHNICZNEGO

Eksploatacja obiektu technicznego i wynikające z niej konsekwencje są problemami z pogranicza dwóch obszarów zainteresowania naukowców: ekonomii i niezawodności. Z ekonomicznego punktu widzenia, eksploatacja obiektu technicznego jest efektywna, gdy przynosi zysk, a więc jest rentowna (opłacalna). W ujęciu niezawodnościowym, efektywność eksploatacji determinuje skuteczność działania obiektu technicznego, tj. *zdolność do wykonania stawianych przed nim zadań* [14].

Odmienne poglądy co do rozumienia terminu efektywność eksploatacji sprawiają, że jest ona oceniana w dwojaki sposób. Ekonomiczną efektywność eksploatacji obiektu technicznego ocenia się poprzez iloraz wpływów przedsiębiorstwa z tytułu zrealizowanych zadań przewozowych w ściśle wyznaczonym przedziale czasu (P_E) i kosztów eksploatacji poniesionych na wykonanie tych zadań w tym samym czasie (K_E), co określa poniższy wzór [8]:

$$E_E = \frac{P_E}{K_E} \quad (2)$$

Tak wyliczoną efektywność działania obiektu technicznego - jak wskazuje Z. Cygan [1] - można również zmierzyć w pewnym przedziale czasu, np. roku bieżącym stosunku do roku ubiegłego. Wówczas należy dokonać odpowiednich porównań według niżej podanego wzoru:

$$E_E = \frac{E_1}{E_2} \quad (3)$$

gdzie:

E_1 – obliczona efektywność ekonomiczna eksploatacji obiektu technicznego w okresie badanym,

E_2 – obliczona wcześniej efektywność ekonomiczna eksploatacji w okresie odniesienia.

Przyjmuje się, że jeśli $E_E > 1$ to mamy do czynienia ze wzrostem efektywności ekonomicznej eksploatacji, natomiast gdy $E_E < 1$ z jej spadkiem.

Ekonomiczna efektywność eksploatacji obiektu technicznego zależy od poziomu jego niezawodności, która w ujęciu opisowym, jest *zespolem właściwości opisujących gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność, obsługiwalność i zapewnienie środków obsługi* [14]. W teorii niezawodności efektywność eksploatacji obiektu technicznego najczęściej oceniana jest w oparciu o wskaźnik gotowości technicznej $K_g(t)$, który określa gotowość obiektu technicznego do podjęcia realizacji zadania w odcinku czasu t . Wskaźnik ten przybiera postać ilorazu czasu przebywania obiektu technicznego w stanie zdatności do łącznego czasu przebywania obiektu technicznego w stanie zdatności i w stanie niezdatności [9]:

$$K_g(t) = \frac{T_z(t)}{T_z(t) + T_{nz}(t)} \quad (4)$$

Gotowość techniczną obiektu technicznego można wykorzystać np. przy ocenie wpływu niezawodności obiektu technicznego na stopień jego wykorzystania [9]:

$$K_{pr}(t) = K_g(t) \cdot K_{pz}(t) \quad (5)$$

gdzie:

$$K_{pz}(t) = \frac{T_{pr}(t)}{T_z(t)} \quad (6)$$

przy czym:

$K_{pr}(t)$ - wskaźnik oceny wpływu niezawodności obiektu technicznego na jego stopień wykorzystania w badanym okresie t ,

$K_{pz}(t)$ - wskaźnik wykorzystania obiektu zdanego w badanym okresie t .

Sprawą oczywistą jest, że w procesie użytkowania obiekt techniczny traci swoje własności użytkowe wskutek procesów zużycia. Zużywania, a i w konsekwencji uszkodzeń obiektu technicznego nie da się uniknąć, ale można je opóźniać - wykonując usługi profilaktyczne. Zarówno usunięcie uszkodzeń, jak i utrzymanie obiektu technicznego w stanie zdatności wiąże się z koniecznością ponoszenia strat finansowych związanych z naprawą, niewykonaniem zadania itd. [2]. Te dwie grupy kosztów (tj. koszty uszkodzenia i koszty obsługi profilaktycznych) wraz z kosztem (bieżącego) użytkowania w sumie tworzą koszt eksploatacji, który - jak wynika z wzoru (2) - jest istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność eksploatacji obiektu technicznego. W fazie eksploatacji obiektu technicznego, koszt ten można minimalizować poprzez dobór odpowiedniej strategii jego obsługi. Warto dodać, że koszt eksploatacji obiektu technicznego można już zoptymalizować na etapie jego zakupu - wybierając ten obiekt, który charakteryzuje się najniższym całkowitym kosztem okresu istnienia (z ang. *Life Cycle Cost – LCC*) przy zadanym poziomie niezawodności.

Istnienie związków pomiędzy niezawodnością, kosztami a efektami ekonomicznymi systemów, czy funkcjonujących w nich obiektów nie budzi poważniejszych wątpliwości. Z doświadczeń wynika, że technicznie efektywne działanie obiektu, może nie być efektywne ekonomicznie, natomiast działanie efektywne ekonomicznie, musi też być działaniem

efektywnym technicznie [11]. Z tego powodu, zasadniczym kryterium oceny eksploatacji obiektu technicznego jest kryterium ekonomiczne.

Na etapie zakupu obiektu technicznego, potencjalny jego użytkownik powinien swoją decyzję o wyborze danej oferty poprzeć informacją o generowanych przez niego kosztach. Funkcje uzyskane z badań zachowania się obiektów (ich niezawodności) w trakcie eksploatacji są dobrym punktem wyjścia do wyznaczenia prognozowanych kosztów eksploatacji. W chwili zakupu poszczególne elementy kosztu eksploatacji obiektu technicznego można aproksymować z następujących wzorów:

– *koszty obsługi profilaktycznego* (K_{OP}) [5]:

$$K_{OP} = \sum_{i=1}^I \frac{t}{\bar{T}_{OP}^i} \cdot (\bar{T}_{EOP}^i \cdot \bar{K}r_{OP}^i + \bar{K}Cz_{OP}^i) \quad (7)$$

gdzie:

$\frac{t}{\bar{T}_{OP}^i}$ - liczba planowanych obsługa *i*-tego rodzaju w badanym okresie *t*,

$(\bar{T}_{EOP}^i \cdot \bar{K}r_{OP}^i + \bar{K}Cz_{OP}^i)$ - koszt wymiany części lub materiałów zużytych przy *i*-tym rodzaju obsługi, przy czym:

$\bar{T}_{EOP}^i = \frac{T_{EOP}^i}{n_{OP}^i}$ - średnia pracochłonność obsługa profilaktycznych *i*-tego rodzaju,

$\bar{K}r_{OP}^i = \frac{K r_{OP}^i}{n_{OP}^i}$ - średni koszt robocizny *i*-tego rodzaju obsługa profilaktycznych,

$\bar{K}Cz_{OP}^i = \frac{K Cz_{OP}^i}{n_{OP}^i}$ - średni koszt materiałów eksploatacyjnych i części zamiennych zużytych na

i-ty rodzaj obsługi profilaktycznej;

– *koszty obsługi korekcyjnego* (K_{OK}):

$$K_{OK} = \sum_{r=1}^R n_u^r \cdot (\bar{T}_{EOK}^r \cdot \bar{K}r_{OK}^r + \bar{K}Cz_{OK}^r) \quad (8)$$

gdzie:

n_u^r - liczba *r*-tych obsługa korekcyjnych w badanym okresie *t* wyznaczana jako $\frac{t}{\bar{P}_{OK}^r}$ - ilość

nieplanowanych napraw [5] lub λ_r – intensywność uszkodzeń *r*-tej postaci [15], w której czas poprawnej pracy obiektu opisywany jest rozkładem wykładniczym lub rozkładem Weibulla,

$\bar{T}_{EOK}^r = \frac{T_{EOK}^r}{n_u^r}$ - średnia pracochłonność obsługa korekcyjnych *r*-tego rodzaju,

$\bar{K}r_{OK}^r = \frac{K r_{OK}^r}{n_u^r}$ - średni koszt robocizny *r*-tego rodzaju obsługa korekcyjnych,

$\bar{K}Cz_{OK}^r = \frac{K Cz_{OK}^r}{n_u^r}$ - średni koszt materiałów eksploatacyjnych i części zamiennych zużytych na

r-ty rodzaj obsługi korekcyjnej;

– *koszty użytkowania* (K_U) [7]:

$$K_U = K_g(t) \cdot t \cdot (K_p + K_{rpu}) \quad (9)$$

4. STUDIUM PRZYPADKU

Celem studium przypadku jest ocena ekonomicznej (kosztowej) efektywności eksploatacji obiektu technicznego. Ocena ta została dokonana na podstawie analizy kosztów eksploatacji trzech autobusów szynowych tej samej klasy, eksploatowanych przez jedno z regionalnych przedsiębiorstw kolejowych. Okresem analizy objęto 30 miesięcy, począwszy od grudnia 2008 r. na maju 2011 r. kończąc.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

1. Roboczegodzina (rbh) pracy maszynisty i kierownika pociągu kosztuje średnio 25,18 zł i 13,80 zł.
2. Czas zdatności autobusu szynowego jest równoważny z czasem jego pracy ($T_z = T_{pr}$).
3. W ciągu doby autobus szynowy pracuje przez 12 h.
4. Przeglądy PU1 oraz PU2 wykonywane są przez własny zespół serwisowy na bazie przeglądowo-naprawczej przedsiębiorstwa; zakres czynności wykonywanych w ramach PU1 nie wyłącza pojazdu z ruchu, natomiast realizacja czynności przeglądowych PU2 czasami powoduje wyłączenie pojazdu z eksploatacji.
5. Przeglądy typu PU3 są realizowane przez wyspecjalizowany serwis producenta, po wcześniejszym odstawieniu pojazdów do jego zakładu naprawczego; zakres czynności przewidzianych do realizacji tego typu przeglądu wyłącza pojazd z eksploatacji.
6. Koszt pracy (własnego) personelu obsługowego wynosi średnio: 21 zł/rbh; cała brygada będąca na zmianie (5 osób) wykonuje czynności przeglądowe.
7. Personel serwisu i personel bezpośrednio użytkujący autobus szynowy pracuje w 12 godzinnym systemie zmianowym.
8. Średni koszt materiałów eksploatacyjnych i części zapasowych zużytych przy przeglądzie PU1 wyznaczono na podstawie najczęściej zużywanych materiałów eksploatacyjnych i części zamiennych (analiza Pareto-Lorenza), natomiast przy przeglądzie PU2 w oparciu o obowiązkowo wymieniane części zgodnie z Dokumentacją Systemu Utrzymania pojazdu².
9. Średnie koszty przeglądów PU3 oszacowano na podstawie faktur wystawionych przedsiębiorstwu kolejowemu przez zakłady naprawcze, w których wykonywano tego typu przeglądy.
10. Ze względu na stosunkowo krótki czas pracy pojazdów³ nie jest możliwe określenie kosztów przeglądu PU4 oraz PU5.
11. Dwa rodzaje niezdatności (r), tj. 1 – niezdatność spowodowana losowymi uszkodzeniami oraz 2 - niezdatność spowodowana (planowanymi) obsługami, które wyłączyły pojazd z eksploatacji (PU2, PU3-1 oraz PU3-2).
12. Uszkodzenia 1 postaci naprawiane są w zakładach naprawczych firm zewnętrznych.
13. $n_u^1 = \lambda_1$, dla której czas poprawnej pracy autobusu szynowego opisano rozkładem Weibulla.

Dane wykorzystane do obliczeń pochodzą z książek pojazdów wypełnianych przez maszynistów, kierowników pociągu i pracowników serwisu, działu utrzymania taboru oraz działu finansowego firmy. W celu ułatwienia obliczeń niektóre dane zostały zaokrąglone lub uśrednione.

² Procedura szacowania średniego kosztu materiałów eksploatacyjnych i części zapasowych przedstawiona została w pracy [3].

³ Rok produkcji badanych autobusów szynowych to 2008.

W tabelicy 2 przedstawiono wyniki badań i obliczeń służących do wyznaczenia efektywności kosztowej autobusu szynowego. Nadmienić należy, że wszystkie wartości kosztowe zamieszone w tabelicy 2 są wartościami netto oraz to, że do obliczeń wzięto obserwacje ucięte.

Tablica 2. Wartości mierników i wskaźników eksploatacyjnych poszczególnych autobusów szynowych w analizowanym okresie

Symbol	Autobus szynowy				J.m.
	X-001	X-002	X-003	Średnio w ciągu roku	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
T_z	820	774	794	318	dni
p	409 208	333 321	428 994	156 203	km
K_p	797 460,9	647 687,2	799268,9	299 255,6	zł
K_{rpu}	383 563,2	362 046,2	371 401,4	148 934,8	zł
i	4 (PU1, PU2, PU3-1, PU3-2)				-
L_{OP}^{PU1}	251	232	252	98	-
L_{OP}^{PU2}	9	8	8	3	-
L_{OP}^{PU3-1}	1	1	1	0,4	-
L_{OP}^{PU3-2}	1	1	1	0,4	-
\bar{T}_{OP}^{PU1}	2	2	2	2	rbh
\bar{T}_{OP}^{PU2}	12	12	12	12	rbh
T_{OP}^{PU3-1}	8	12	22	14	dni
T_{OP}^{PU3-2}	(23)	(23)	62	36	dni
\bar{p}_{PO}^{-PU1}	1 522	1 387	1 442	1 453	km
\bar{p}_{PO}^{-PU2}	37 576	60 332	37 729	38 028	km
\bar{p}_{PO}^{-PU3-1}	231 641	204 436	216 134	217 404	km
\bar{p}_{PO}^{PU3-2}	463 283	408 872	432 268	434 807	km
$\bar{K}_{r_{OP}}^{-PU1}$	52 710	48 720	52 920	20 580	zł
$\bar{K}_{r_{OP}}^{-PU2}$	11 340	10 080	10 080	4 200	zł
$\bar{K}_{CZ_{OP}}^{-PU1}$	47 539	35 113	32 246	15 349	zł
$\bar{K}_{CZ_{OP}}^{-PU2}$	38033	33540	33440	13 998	zł
K_{OP}^{PU3-1}	56 504,35	56 504,35	56 504,35	22602	zł
K_{OP}^{PU3-2}	125 000	125 000	125 000	50 000	zł
r	2				-
n_u^1	13	12	10	5	-
n_u^2	11	10	9	4	-
T_{OK}^1	39	82	12	18	dni
T_{OK}^2	40	43	93	23	dni
K_{OK}^1	233 550,67	243 696,2	314 009,6	105500,9	zł

\bar{P}_{OK}	17 031 33	14 894 35	19 924 40	17145 36	km dni
Rozkład	Weibulla				-
1	2	3	4	5	6
Parametry rozkładu [dni]	$\eta=33,4710$ $\beta=0,9326$	$\eta=37,3242$ $\beta=0,9894$	$\eta=44,2606$ $\beta=1,2771$	$\eta=37,6397$ $\beta=1,0707$	-
Parametry rozkładu [km]	$\eta=1,7410E+4$ $\beta=1,0409$	$\eta=1,5576E+4$ $\beta=1,0268$	$\eta=2,2108E+4$ $\beta=1,3190$	$\eta=1,7962E+4$ $\beta=1,1373$	-
T_{nz}	79	125	105	41	dni
$K_g(t)$	0,91	0,86	0,88	0,89	-
C_z	5 673 000				zł

* Wartości ucięte, tj. przegląd rozpoczął się, ale nie zakończył się w analizowanym okresie.

Źródło: *Opracowanie własne*

W świetle przeprowadzonych badań i obliczeń sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Duża zgodność danych doświadczalnych z modelami teoretycznymi. Dla zmiennej losowej czas między wyłączeniami pojazdu z eksploatacji, uzyskano wysoką zgodność na poziomie współczynnika korelacji 0,97-0,99 - oznacza to, że czas ten może być modelowany rozkładem Weibulla, dla którego funkcja intensywności uszkodzeń jest funkcją stałą (β jest mniej więcej równe 1).
2. Po 3,5-letnim okresie eksploatacji okazuje się, że autobus szynowy „dotarł się” i znajduje się w fazie „normalnej” eksploatacji (II faza krzywej wannowej), w której uszkodzenia są przypadkowe, niezależne od czasu, wynikające z niepoprawnych warunków pracy, czynników zewnętrznych, związanych z zasilaniem itp..
3. Średni czas między wyłączeniami pojazdu z ruchu spowodowanymi zarówno uszkodzeniami jak i planowanymi obsługami wynosi około 14 dni oraz stosunkowo krótkie czasy naprawy (około 2 dni) powodują, że w ciągu roku autobus szynowy osiąga stosunkowo wysoki współczynnik gotowości – na poziomie 0,89.
4. Średni koszt eksploatacji autobusu szynowego w ciągu roku wynosi około 609 383 zł, przy czym poszczególne jego składowe kształtują się następująco:
 - koszty obsług profilaktycznych - około 126 729 zł,
 - koszty obsług korekcyjnych - około 85 814 zł,
 - koszt (bieżącego) użytkowania – około 396 840 zł,
 Poszczególne składowe kosztu eksploatacji oszacowano ze wzoru (7), (8) i (9).
5. Koszty użytkowania stanowią największy udział w kosztach eksploatacji – 65%.
6. Średnie roczne koszty eksploatacji autobusu szynowego stanowią około 10% jego ceny zakupu.
7. Rozkład poszczególnych kosztów eksploatacji autobusu szynowego kształtowałby się inaczej przy uwzględnieniu kosztów przeglądów poziomu PU4 oraz PU5.

5. PODSUMOWANIE

W artykule wykazano celowość szacowania kosztów w chwili zrodzenia się potrzeby zakupu nowego obiektu technicznego dla osiągnięcia optymalnej jego efektywności w całym okresie istnienia. Przedstawiono metodykę obliczeń całkowitego kosztu eksploatacji, tj. kosztów obsługi profilaktycznego, kosztów obsługi korekcyjnego oraz kosztów (bieżącego) użytkowania, jakie użytkownik obiektu technicznego poniesie na jego utrzymanie w prognozowanym okresie. Zaprezentowano również mierniki i wskaźniki ekonomiczno-

eksploatacyjne, które są niezbędne do oceny procesu użytkowania i obsługiwanego obiektu technicznego.

LITERATURA

- [1]. Cygan. Z., Jędrzejowicz P., Ziemia S.: *Badania systemów eksploatacyjnych*. Tom 1, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław 1983.
- [2]. Dziaduch I.: *Analiza kosztów okresu istnienia (LCC) obiektu technicznego w aspekcie jego niezawodności*. Logistyka, 2011, nr 2.
- [3]. Dziaduch I.: *Analiza kosztów obsługi profilaktycznych autobusów szynowych w pełnym cyklu ich obsługi* (nie opubl.).
- [4]. Hebda M., Janicki D.: *Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji*. WKŁ, Warszawa 1977.
- [5]. Jong-Woon K., Jong-Duk Ch., Seok-Yun H.: *Life Cycle Cost model for evaluating RAMS requirements for rolling stocks*. Computers & Industrial Engineering, 2009. CIE 2009. International Conference on.
- [6]. Konieczny J.: *Sterowanie eksploatacją urządzeń*. Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa 1975.
- [7]. Kumar D., Chattopadhyay G., Pannu H.S.: *Total Cost of Ownership for Railway Assets: A Case Study on Boxn Wagons of Indian Railways*. [W:] *Proceedings of the Fifth Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2004*, 12-15 December 2004, Gold Coast, Australia.
- [8]. Marciniak J.: *Eksploatacja kolejowych pojazdów szynowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.
- [9]. Marciniak J.: *Podstawy eksploatacji technicznej kolejowych pojazdów szynowych*. WSI, Radom 1991.
- [10]. Martan L.: *Rachunek efektywności rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych*. Wyższa Szkoła Zarządzania i Finansów we Wrocławiu, Wrocław 2008.
- [11]. Nojszewska E.: *Podstawy ekonomii*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1995.
- [12]. Olearczuk E.: *Zarys teorii użytkowania urządzeń technicznych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
- [13]. Piasecki S.: *Struktura problemowa nauk o eksploatacji obiektów technicznych*. Eksploatacja i niezawodność, 1999, nr 3.
- [14]. PN-93/N-50191: *Słownik terminologiczny elektryki – Niezawodność; jakość usługi*, 1993.
- [15]. PN-EN 60300-3-3: *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia*. Polski Komitet Normalizacyjny (PKN), 2001.

EFFECTIVENESS EVALUATION OF RAILBUS EXPLOITATION

Abstract

In the article parameters characterizing the operation and maintenance process of technical object as well as indicators that allow to measure its effectiveness are presented. Moreover, by means of chosen exploitation-economic indicators, effectiveness of railbus exploitation is performed.

Keywords: effectiveness, operation and maintenance costs, optimization



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



DOLNY
ŚLĄSK

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego
oraz budżetu województwa dolnośląskiego