

Zbigniew Kasprzyk<sup>1</sup>, Marek Sumiła<sup>2</sup>  
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

## Analiza oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat

### 1. WPROWADZENIE

W związku z wprowadzeniem od 1 lipca 2011 roku elektronicznego systemu poboru opłat na polskich drogach w postaci Krajowego Systemu Poboru Opłat, istnieje problem racjonalnej realizacji procesu eksploatacji tego systemu ze względu na jego strukturę [7]. System ten cały czas posiada strukturę mieszaną w postaci elektronicznego i manualnego systemu poboru opłat co powoduje trudność w zapewnieniu ciągłości usługi transportowej odpowiedniej jakości obsługi użytkowników tego systemu. Każdy przestój systemu lub jego nieprawidłowe działanie, generuje dodatkowe koszty czasu podróży wraz ze społecznymi kosztami zanieczyszczenia środowiska [9]. W związku z powyższym przedstawiona w pracy [7] i bardziej szczegółowa analiza zagadnienia oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowych systemów poboru opłat stosowanych na polskich drogach wydaje się być celowa z punktu widzenia propozycji zastosowania skutecznych metod poprawy eksploatacji tych systemów.

Niniejszy artykuł jest kontynuacją pracy [7] w której przedstawiono nowe pojęcie niezawodności eksploatacyjnej w aspekcie autostradowego systemu poboru opłat wraz z ogólną metodologią oceny niezawodności eksploatacyjnej analizowanego systemu.

### 2. METODA OCENY NIEZAWODNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ AUTOSTRADOWEGO SYSTEMU POBORU OPŁAT

Zastosowana metoda oceny niezawodności eksploatacyjnej umożliwia w rezultacie uzyskać informacje dotyczące zachowania się obiektów technicznych oraz ocenić jakość obsługi użytkowników systemu podczas eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat MSP (Manualny System Poboru Opłat). Ze względu na fakt, iż w dokonany przez autora przeglądzie literatury nie natrafiono na publikacje bezpośrednio związane z opracowaniami dotyczącymi analizy niezawodności eksploatacyjnej w odniesieniu do systemów MSP, w pracy przedstawiono próbę nowego podejścia do oceny niezawodności eksploatacyjnej analizowanego systemu, z uwzględnieniem nie tylko wymogów ogólnej teorii eksploatacji ale także specyficznych warunków procesu eksploatacji systemu, umożliwiającej uzyskanie wskaźników eksploatacyjnych i niezawodnościowych. Otrzymane wskaźniki umożliwiają dokonania oceny analizowanego systemu co pozwoli na dobór strategii eksploatacyjnej tak, by spełniały one minimalne wymagania w zakresie niezawodności i dostępności określone w standardach oraz przepisach normatywnych wraz z wymaganą jakością obsługi użytkowników autostradowego systemu poboru opłat [1], [2], [3]. Analiza systemu przeprowadzona jest równolegle w aspekcie procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów oraz oceny jakości obsługi użytkowników systemu. W ujęciu procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów poszukujemy odpowiedzi na pytanie czy analizowany system spełnia wymogi w zakresie niezawodności i dostępności określone w standardach oraz przepisach normatywnych [2]. W ujęciu oceny jakości obsługi użytkowników systemu poszukujemy odpowiedzi na pytanie czy analizowany system podczas eksploatacji zapewnia wymagany poziom obsługi definiowany na podstawie kategorii określających jakość obsługi użytkowników autostradowego systemu poboru opłat [1]. Metody szacowania niezawodności eksploatacyjnej obiektów

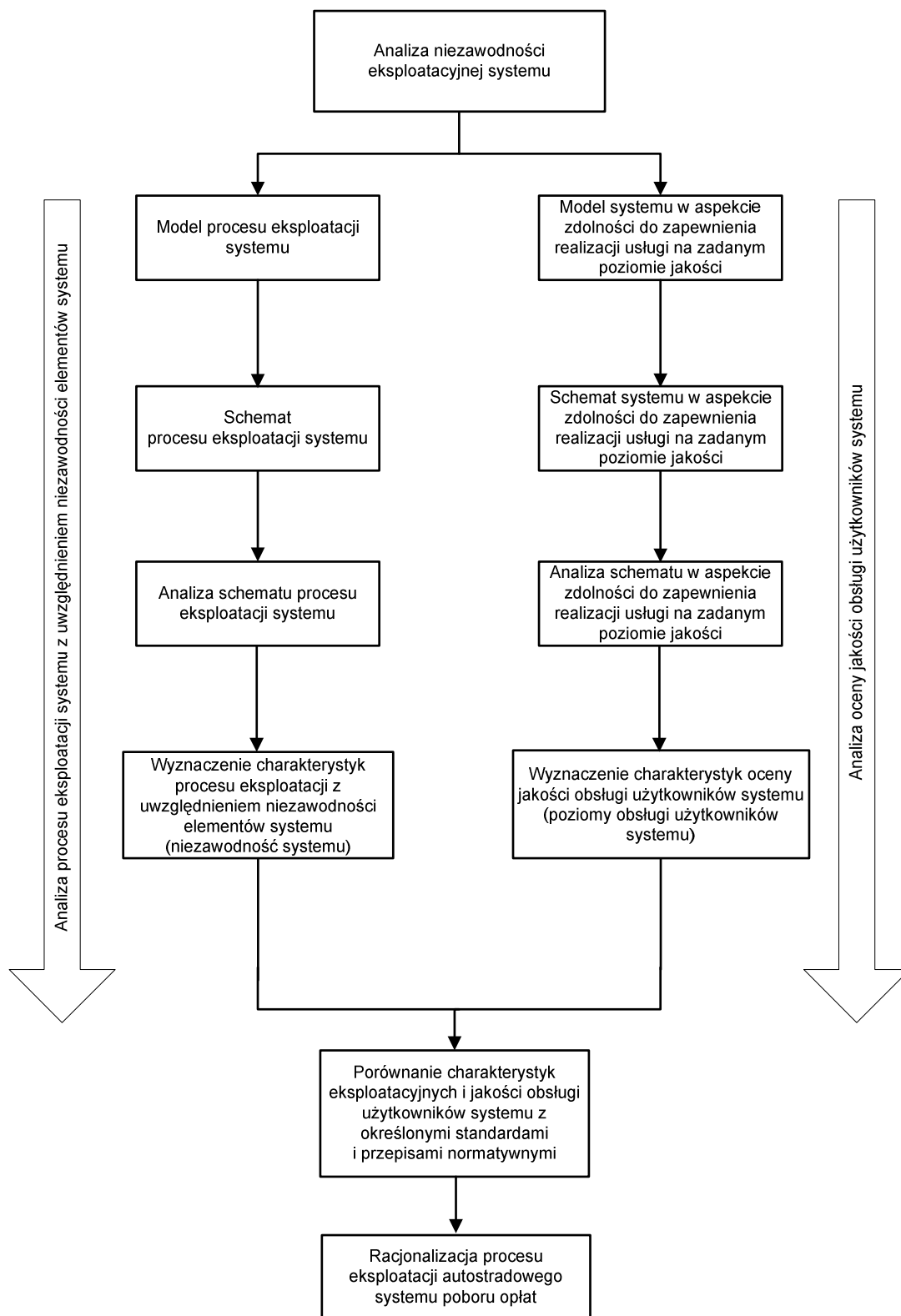
<sup>1</sup> zka@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> sumila@it.pw.edu.pl

technicznych posłużyły do wyznaczenia wartości wskaźników niezawodnościowych potrzebnych przy stworzeniu modelu procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat, co jest podstawowym zagadnieniem metodycznym w ocenie niezawodności eksploatacyjnej analizowanego systemu. Analizując wyposażenie techniczne rozpatrywanego autostradowego systemu poboru opłat MSP, oraz funkcje jakie ma on spełniać w stosunku do użytkowników należy uwzględnić uszkodzenia systemu, jego strategię obsługi, naprawy oraz możliwości odnowy wraz z jakością obsługi użytkowników autostradowego systemu poboru opłat. Kluczowym czynnikiem mającym wpływ na niezawodność eksploatacyjną systemu jest niezawodność elementów technicznych będących składowymi analizowanego systemu [5], [10].

Proces poboru opłat powinien przebiegać sprawnie i zapewniać ciągłość usługi transportowej oraz odpowiednią jakość obsługi użytkownika drogi płatnej. Użytkownicy dróg akceptują fakt pobierania opłaty za przejazd pod warunkiem gwarancji odpowiedniego komfortu jazdy drogami krajowymi a co za tym idzie również zapewnieniu jakości obsługi użytkowników uiszczających opłatę oraz ciągłości usługi transportowej. Komfort ten może zagwarantować wprowadzenie Elektronicznego Systemu Poboru Opłat ale w najbliższych latach system poboru opłat będzie systemem mieszanym. Ta niejednorodność systemu poboru opłat wymusza na zarządcy danego odcinka autostrady stosowanie manualnego systemu poboru opłat wraz z elektronicznym co dodatkowo podnosi koszty eksploatacji systemu i uniemożliwia zapewnienie jednakowej jakości obsługi płatności dla każdego rodzaju pojazdu. Dlatego też istotną kwestią w aspekcie niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat jest obok spełnienia wymogów w zakresie niezawodności i dostępności systemu [2], również zapewnienie odpowiedniego poziomu jakości obsługi użytkowników autostradowego poboru opłat [1].

Do oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat MSP konieczna jest budowa adekwatnego do rzeczywistości modelu matematycznego uwzględniającego możliwie jak największą liczbę kombinacji czynników odpowiadających konkretnemu zadaniu badawczemu. Celem stworzenia modelu matematycznego autostradowego systemu poboru opłat jest analiza i ocena systemu pozwalająca na opracowanie harmonogramu pracy systemu przy określonej gotowości, ustalonym wyposażeniu i odpowiednim poziomie jakości obsługi użytkowników systemu. Struktura metody oceny niezawodności eksploatacyjnej systemu telematyki autostradowej została przedstawiona na rysunku 1. Metoda polega na równoległej analizie procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów wraz z oceną jakości obsługi użytkowników autostradowego systemu poboru opłat. Analiza procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów polega na stworzeniu modelu procesu eksploatacji w postaci grafu stanów analizowanego systemu. Tworzony jest schemat procesu eksploatacji systemu wraz z relacjami zachodzącymi w tym systemie w aspekcie bezpieczeństwa. Następnie sporządzana jest analiza schematu procesu eksploatacji z uwzględnieniem niezawodności jego elementów a na końcu wyznaczenie charakterystyk niezawodnościowych systemu. Analiza procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów umożliwia określić czy system spełnia wymogi w zakresie niezawodności i dostępności określone w standardach oraz przepisach normatywnych. Równoległe przeprowadzana jest analiza oceny jakości obsługi użytkowników, mająca na celu określić czy analizowany system podczas eksploatacji zapewnia wymagany poziom obsługi definiowany na podstawie kategorii określających jakość obsługi użytkowników autostradowego systemu poboru opłat [1]. W końcowej fazie porównywane są charakterystyki eksploatacyjne i jakości obsługi użytkowników systemu z określonymi standardami i przepisami normatywnymi [1], [2], [3]. Na końcu realizowana jest racjonalizacja procesu eksploatacji analizowanego systemu określająca strategię działania systemu zarówno w aspekcie eksploatacyjnym określającą odpowiednią obsługę systemu zapewniającą minimalną wymaganą gotowość systemu, jak i w aspekcie oceny jakości obsługi użytkowników określającą odpowiedni poziom usługi poboru opłaty od użytkowników drogi krajowej.



Rys. 1. Struktura metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat.

Źródło: opracowanie własne.

### 3. ANALIZA OCENY NIEZAWODNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ AUTOSTRADOWEGO SYSTEMU POBORU OPŁAT

Przedstawiona poniżej analiza metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat dotyczy metody w ujęciu procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego

elementów i polega między innymi na stworzeniu modelu procesu eksploatacji w postaci grafu stanów analizowanego systemu, stworzeniu schematu procesu eksploatacji systemu, przeprowadzeniu jego analizy niezawodnościowej oraz wyznaczeniu charakterystyk procesu eksploatacji analizowanego systemu (rysunek 1.). Szczegółowa analiza metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat w dwóch ujęciach przekracza możliwości objętościowe niniejszej pracy i została przeprowadzona w opracowaniu [6].

Modele procesu eksploatacji opisują zachowanie się systemów w określonych warunkach użytkowania. Najczęściej przyjmuje się, że model procesu eksploatacji przedstawia zmiany stanów, które zachodzą w określonym przedziale czasu. Liczba wyróżnionych stanów, w których może przebywać obiekt, jest zbiorem skończonym i zależy od celów oraz przyjętej dokładności analizy. W niniejszym rozdziale przyjęto do odwzorowania modelu procesu eksploatacji graf skierowany, w którym wierzchołkami są stany eksploatacyjne, a łuki przedstawiają przejścia między nimi [5]. Uwzględniając opis funkcjonowania systemu oraz założenia do modelowania autostradowego systemu poboru opłat wyróżniono następujące stany eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat:

- S1 - stan pełnej zdadności do pracy i realizacja usługi poboru opłaty (stan poprawnej pracy);
- S2 - stan niepełnej zdadności (częściowa naprawa przy możliwości częściowej realizacji usługi poboru opłaty);
- S3 - stan niezdadności (stan naprawy przy braku realizacji usługi poboru opłaty).

Model procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat wykonano przy następujących założeniach [4], [5], [8]:

- czas poprawnej pracy obiektów technicznych jest opisany rozkładem wykładniczym;
- czas trwania stanów jest zmienną losową o dowolnym rozkładzie określonym w dodatniej przestrzeni liczb rzeczywistych;
- przejście autostradowego systemu poboru opłat do określonego stanu nie zależy od historii stanów, ale tylko od stanu aktualnego, w którym znajduje się system;
- prawdopodobieństwo wystąpienia dwóch lub więcej uszkodzeń jednocześnie jest bliskie zero;
- uszkodzenie obiektu powoduje jego przejście do stanu naprawy, w trakcie naprawy dokonuje się pełna odnowa obiektu;
- wartość intensywności uszkodzeń jest stała w czasie i nieujemna:  $\lambda \geq 0$ ;
- intensywność napraw  $\mu$  elementów systemu jest stała dla krótkich odcinków czasu:  $\mu = \text{const}$ .

Stany  $S_i$  tworzą przestrzeń stanów określoną zbiorem  $S$ :

$$S = \{S1, S2, S3\} \quad (1)$$

Proces eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat można zdefiniować jako funkcję:

$$Y(t) = \{Y(S_i, t) \text{ dla } S_i \in S \wedge t \in R_+\} \quad (2)$$

Dla  $t \in R_+$ ,  $Y(t)$  jest procesem stochastycznym  $\{Y(t), t \in R_+\}$  o wartościach określonych w zbiorze  $S = \{S1, S2, S3\}$ . Proces stochastyczny jest procesem dyskretnym w stanach i ciągłym w czasie. Założono, że czas trwania stanów eksploatacyjnych autostradowego systemu poboru opłat  $S_i \in S$  jest zmienną losową o dowolnym rozkładzie określonym w dodatniej przestrzeni liczb rzeczywistych  $R_+$ . Założono że przejście autostradowego systemu poboru opłat do określonego stanu nie zależy od historii stanów, tylko od aktualnego stanu w jakim znajduje się system. Przyjęcie powyższych założeń pozwala traktować model niezawodnościowy autostradowego systemu poboru opłat dla  $t \in R_+$  jako proces semi-Markowa o skończonej liczbie stanów  $S_i$  ze zbioru stanów  $S$ . Proces semi-Markowa może być określony przez jednorodny łańcuch Markowa o macierzy przejść  $P = [P_{ij}]$  oraz rozkłady warunkowe niezależnych zmiennych losowych  $T_{ij}$

$$P = [p_{ij}; i, j \in S], P_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} Q_{ij}(t) \quad (3)$$

oraz rozkładzie początkowym:

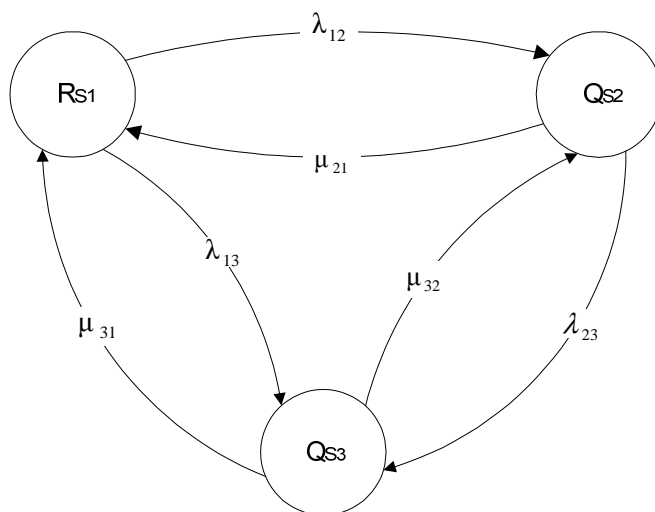
$$P\{Y(\tau_0) = k\} = P_k \text{ dla } k \in S \quad (4)$$

$$F_{ij}(t) = P\{\tau_n - \tau_{n-1} < t / Y(\tau_{n-1}) = i, Y(\tau_n) = j\} \text{ dla } i, j \in S \quad (5)$$

gdzie:

- $i, j \in S$ ;
- $i, j$  - indeksy możliwych stanów eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat;
- $p_{ij}$  - prawdopodobieństwo przejścia procesu ze stanu  $i$  do stanu  $j$ ;
- $F_{ij}(t)$  - dystrybuanta zmiennej losowej  $T_{ij}$ ;
- $S$  - zbiór stanów procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat.

Autostradowy system poboru opłat MSP może znajdować się w zbiorze stanów  $S$  określonych powyżej (1). Interpretacja graficzna ogólnego modelu procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Graf stanów ogólnego procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat postrzegany jako proces dyskretny w stanach i ciągły w czasie

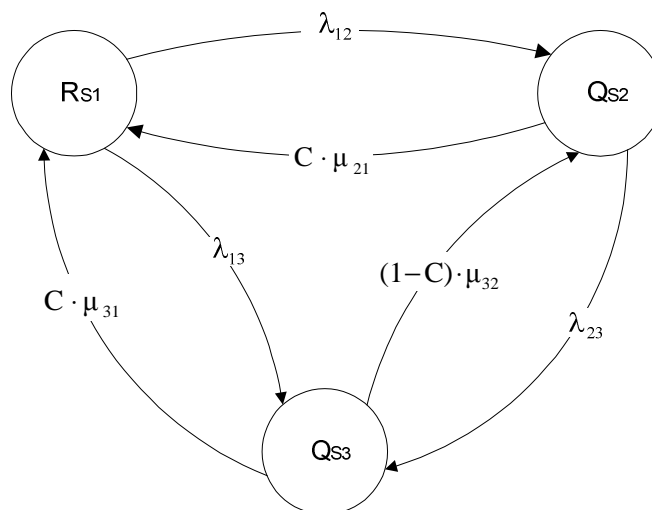
Źródło: opracowanie własne.

Oznaczenia na rysunku 2 są następujące:

- $RS_1$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności do pracy i realizacja usługi poboru opłaty (stan poprawnej pracy);
- $QS_2$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niepełnej zdatności (częściowa naprawa przy możliwości częściowej realizacji usługi poboru opłaty);
- $QS_3$  – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niezdatności (stan naprawy przy braku realizacji usługi poboru opłaty);
- $\lambda_{12}$  – intensywność uszkodzeń pojedynczego stanowiska autostradowego systemu poboru opłat;
- $\lambda_{23} = \lambda_{13}$  – intensywność uszkodzeń całego placu poboru opłat i autostradowego systemu poboru opłat;
- $\mu_{21}$  – intensywność napraw całego placu poboru opłat autostradowego systemu poboru opłat;
- $\mu_{32}$  – intensywność napraw pojedynczego stanowiska autostradowego systemu poboru opłat;
- $\mu_{31}$  – intensywność napraw całego systemu autostradowego systemu poboru opłat;

Analizując jednak proces eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat, łatwo zauważyć, że naprawa całego systemu poboru opłat wymaga niewspółmiernie większych nakładów zarówno finansowych jak i ludzkich w skali całego procesu systemu poboru opłat aniżeli naprawa pojedynczego stanowiska. Dlatego też w rzeczywistych warunkach pracy autostradowych systemów poboru opłat naprawy pojedynczych stanowisk poboru opłat oraz całego systemu wykonywane są z różnymi intensywnościami, które nie są wartościami optymalnymi. Zachodzi więc konieczność określenia zależności pomiędzy intensywnościami napraw, poniesionymi kosztami a prawdopodobieństwem przebywania systemu w stanie

pełnej zdolności do pracy i realizacji usługi poboru opłaty. Wprowadźmy współczynnik  $C$  będący współczynnikiem intensywności napraw systemu poboru opłat. Graf przejść przedstawiony na rysunku 2 będzie miał teraz postać przedstawioną na rysunku 3.



Rys. 3. Graf stanów ogólnego procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat uwzględniający współczynnik intensywności napraw  $C$

Źródło: opracowanie własne.

Stosując przekształcenia otrzymujemy charakterystyki procesu eksploatacji w postaci funkcji prawdopodobieństw przebywania systemu w poszczególnych stanach:

Funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdolności do pracy i realizacja usługi poboru opłaty (stan poprawnej pracy) z uwzględnieniem współczynnika intensywności napraw  $C$ :

$$R_{s1}(t, C) = \frac{e^{-t(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})} (\lambda_{12}^2 + \lambda_{12}\lambda_{23} - \lambda_{12}\mu_{32} - \lambda_{23}\mu_{32} + C\lambda_{12}\mu_{21} - C\lambda_{12}\mu_{31} + C\lambda_{12}\mu_{32} + C\lambda_{23}\mu_{32})}{(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})(\lambda_{12} - \mu_{32} + C\mu_{21} - C\mu_{31} + C\mu_{32})} + \frac{C(\mu_{21}\mu_{32} + \lambda_{23}\mu_{31} + C\mu_{21}\mu_{31} - C\mu_{21}\mu_{32})}{(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})(\lambda_{23} + \mu_{32} + C\mu_{31} - C\mu_{32})} + \frac{C\lambda_{23}e^{-t(\lambda_{23} + \mu_{32} + C\mu_{31} - C\mu_{32})}(\mu_{21} - \mu_{31})}{(\lambda_{23} + \mu_{32} + C\mu_{31} - C\mu_{32})(\lambda_{12} - \mu_{32} + C\mu_{21} - C\mu_{31} + C\mu_{32})} \quad (6)$$

Funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niepełnej zdolności (częściowa naprawa przy możliwości częściowej realizacji usługi poboru opłaty) z uwzględnieniem współczynnika intensywności napraw  $C$ :

$$Q_{s2}(t, C) = \frac{\lambda_{12}\mu_{32} + \lambda_{23}\mu_{32} + C\lambda_{12}\mu_{31} - C\lambda_{12}\mu_{32} - C\lambda_{23}\mu_{32}}{(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})(\lambda_{23} + \mu_{32} + C\mu_{31} + C\mu_{32})} + \frac{e^{-t(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})} (\lambda_{12}^2 + \lambda_{12}\lambda_{23} - \lambda_{12}\mu_{32} - \lambda_{23}\mu_{32} + C\lambda_{12}\mu_{21} - C\lambda_{12}\mu_{31} + C\lambda_{12}\mu_{32} + C\lambda_{23}\mu_{32})}{(\lambda_{12} + \lambda_{23} + C\mu_{21})(\lambda_{12} - \mu_{32} + C\mu_{21} - C\mu_{31} + C\mu_{32})} + \frac{\lambda_{23}e^{-t(\lambda_{23} + \mu_{31} - C\mu_{31} + C\mu_{32})}(\lambda_{12} - C\mu_{32})}{(\lambda_{23} + \mu_{31} - C\mu_{31} + C\mu_{32})(\lambda_{12} + \mu_{21} - \mu_{31} - C\mu_{21} + C\mu_{31} - C\mu_{32})} \quad (7)$$

Funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niezdatności (stan naprawy przy braku realizacji usługi poboru opłaty) z uwzględnieniem współczynnika intensywności napraw  $C$ :

$$Q_{s3}(t, C) = - \frac{\lambda_{23}e^{-t(\lambda_{23} + \mu_{31} + C\mu_{31} - C\mu_{32})}(\lambda_{12} - \mu_{32} + C\mu_{32})}{(\lambda_{23} + \mu_{31} + C\mu_{31} - C\mu_{32})(\lambda_{12} - \mu_{21} + C\mu_{21} - C\mu_{31} + C\mu_{32})} \quad (8)$$

Zaprezentowany model procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat wraz z analizą poszczególnych modeli procesów eksploatacji stanowisk poboru opłat umożliwił opisać zachowanie się całego systemu w procesie poboru opłat na autostradzie. Analiza schematu procesu eksploatacji systemu

umożliwiła na wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych elementów systemu w postaci prawdopodobieństw przebywania całego systemu w poszczególnych jego stanach eksploatacyjnych.

Analiza przedstawiona powyżej umożliwiła na określenie kryterium oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat w aspekcie procesu eksploatacji z uwzględnieniem niezawodności jego elementów dla wymagań [1], [2], [3] w zakresie niezawodności i dostępności systemów poboru opłat. Kryterium to związane jest z funkcją prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności (6), którego wartość powinna być maksymalna przy założonych następujących warunkach początkowych:

- średni oczekiwany czas do uszkodzenia pojedynczego stanowiska poboru opłat;
- średni oczekiwany czas do uszkodzenia placu poboru opłat;
- średni oczekiwany czas do uszkodzenia całego systemu;
- średni oczekiwany czas do odnowy elementu systemu;

Przedstawiona powyżej i w opracowaniu [6] szczegółowa analiza metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat w aspekcie procesu eksploatacji z uwzględnieniem niezawodności jego elementów dla wymagań [1], [2], [3] wykorzystująca model procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat umożliwiła na określenie następujących wniosków:

- Analiza metody oceny niezawodności eksploatacyjnej w aspekcie procesu eksploatacji z uwzględnieniem niezawodności jego elementów umożliwiła na określenie kryterium oceny związanego z funkcją (6). Kryterium to umożliwia na wyznaczenie zalecanych wartości intensywności napraw elementów systemu z uwzględnieniem wymagań w zakresie niezawodności i dostępności systemów poboru opłat.

- Uwzględniając wymagania [1], [2], [3] w zakresie niezawodności i dostępności systemów poboru opłat określono iż proponowaną strategią napraw elementów systemu jest strategia wymian wymuszonych w nieskończonym przedziale czasu przewidująca stosowanie tylko i wyłącznie nieuniknionych, awaryjnych napraw obiektów. Interpretacja otrzymanych wyników określono iż zalecany średni oczekiwany czas do odnowy pojedynczego stanowiska jak i placu poboru opłat dla wyżej

przedstawionych wymagań niezawodnościowych wynosi  $MTTR = \frac{1}{1,7 \cdot 10^{-3}}$  godzin przy maksymalnej

wartości prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności, czyli funkcji kryterium;

- Uwzględniając jednak minimalizację nakładów finansowych przy maksymalnym poziomie prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności dla wymagań [1], [2], [3] w zakresie niezawodności i dostępności systemów poboru opłat określono iż optymalną strategią napraw systemu będzie strategia determinowana przez współczynnik intensywności napraw  $C$ . Aby maksymalizować prawdopodobieństwo systemu w stanie pełnej zdatności określono przy minimalnych kosztach napraw, określono współczynnik intensywności napraw elementów systemu na poziomie  $C = 87\%$ . Dla powyższych założeń określono, iż zalecany średni oczekiwany czas do odnowy

pojedynczego stanowiska poboru opłat w systemie wynosi  $MTTR = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-3}}$  godzin, zalecany średni

oczekiwany czas do odnowy placu poboru opłat w systemie wynosi  $MTTR = \frac{1}{1,4 \cdot 10^{-3}}$  godzin.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona analiza metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat umożliwiła w sposób szczegółowy określić propozycję strategii eksploatacji analizowanego systemu przy określonej gotowości i ustalonym wyposażeniu. Strategia ta ma na celu umożliwienie spełnienia wymagań w zakresie niezawodności i dostępności systemu w ramach racjonalizacji procesu eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat.

**Streszczenie**

Autostradowe systemy poboru opłat pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych gdzie ich poprawne funkcjonowanie uwarunkowane jest między innymi niezawodnością poszczególnych elementów elektromechanicznych. Każdy przestój związany z awarią w działaniu systemu powoduje straty w postaci zwiększonych kosztów czasu podróży wraz ze społecznymi kosztami zanieczyszczenia środowiska. W artykule przedstawiono strukturę metody oceny niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat wraz z jej analizą w ujęciu procesu eksploatacji systemu z uwzględnieniem niezawodności jego elementów. Analiza taka umożliwia odzyskanie odpowiedzi na pytanie czy dany system spełnia wymogi w zakresie niezawodności i dostępności określonych w standardach i przepisach normatywnych oraz w jaki sposób należy określić strategię jego działania.

Słowa kluczowe: niezawodność eksploatacyjna systemów, autostradowy system poboru opłat, proces eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat.

**Analysis of operational reliability evaluation of the motorway toll collection system****Abstract**

Motorway toll collection systems work in different operating conditions where their proper functioning is conditioned, among others reliability of various electromechanical components. Any downtime associated with failures in the operation of the system causes a loss in the form of increased costs of travel time, along with the social costs of pollution. The article presents the structure of operational reliability assessment methods motorway toll system and its analysis in terms of process, operation of the system including the reliability of its components. This analysis allows to find answers to the question whether a system meets the requirements for reliability and availability specified in standards and regulatory rules and how to define a strategy for its operations.

Key words: operational reliability of the systems, motorway toll collection system, the process of operating of the motorway toll collection system.

**LITERATURA**

- [1] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Podstawowe Wymagania Techniczne do Projektowania, Budowy, Eksploatacji i Zwrotu Autostrady A1 „Stryków I” – „Pyrzowice”: Wymagania dotyczące strategii poboru opłat, Warszawa 2007.
- [2] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Podstawowe Wymagania Techniczne do Projektowania, Budowy, Eksploatacji i Zwrotu Autostrady: Wymagania użytkowe – niezawodność i dostępność systemu, Warszawa 2007.
- [3] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Zaprojektowanie i wykonanie dostosowania autostrady do standardów autostrady płatnej i do poboru opłat. Załącznik C: System Poboru Opłat, Warszawa 2008.
- [4] Grigoriadou H. C., Koutras V.P. & Platis A. N.: Semi-Markov processes for coverage modeling and optimal maintenance policies of an automated restoration mechanism, *Advances in Safety, Reliability and Risk Management*, London 2011, ISBN 978-0-415-68379-1.
- [5] Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: *Bezpieczeństwo systemów*, PWN, Warszawa 1993.
- [6] Kasprzyk Z.: Grant dziekański realizowany w 2011 r. p.n.: Racjonalizacja eksploatacji autostradowego systemu poboru opłat z wykorzystaniem modelowania niezawodności eksploatacyjnej, Warszawa 2012.
- [7] Kasprzyk Z., Sumiła M.: *Ocena niezawodności eksploatacyjnej autostradowego systemu poboru opłat*, WILiM, Poznań 2011 r.
- [8] Moura M. C., Lins I. D., Firmino P.R. & Droguett E. L.: *Semi-Markov decision processes for determining multiobjective optima condition-based replacement policies*, London 2010, ISBN 978-0-415-55509-8.
- [9] *Niebieska Księga: Infrastruktura drogowa*, Wydawnictwo Jaspers, Warszawa 2008.
- [10] Nowakowski T.: *Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych*, OWPW, Wrocław 1999.
- [11] Polska Norma PN-ISO-9004-2: *Zarządzanie jakością i elementy systemu jakości – wytyczne dotyczące usług*, Warszawa 1994.
- [12] Polska Norma PN-93/N-50191: *Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność, jakość usług*, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa 1994.