

## METODA DIAGNOZOWANIA PRZYDATNOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH DO UŻYTKOWANIA W SYSTEMIE EKSPLOATACJI

Maciej WOROPAY, Bogdan LANDOWSKI, Daniel PERCZYŃSKI

Katedra Eksploatacji Maszyn  
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy  
ul. Kaliskiego 7, email: perkol@atr.bydgoszcz.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę diagnozowania przydatności obiektów technicznych do realizacji zadań przyjętych przez podsystem sterujący badanego systemu eksploatacji. Obiektem badań, na którym zilustrowano rozważania przedstawione w niniejszej pracy, jest system eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej w wybranej aglomeracji miejskiej. W celu rozwiązania omawianego problemu przyjęto założenie, że matematycznym modelem procesu eksploatacji autobusów jest jednorodny proces Markowa. Jako kryterium wyboru (zakupu) określonej marki autobusu do eksploatacji przyjęto wskaźnik wykorzystania potencjału użytkowego. W artykule nie rozważa się aspektów ekonomicznych związanych z realizacją zakupu obiektu technicznego.

Słowa kluczowe: diagnozowanie, jednorodny proces Markowa, proces eksploatacji

### USEFULNESS DIAGNOSIS METHOD OF THE TECHNICAL OBJECTS TO BE USED IN THE MAINTENANCE SYSTEM

### Summary

This paper presents the usefulness diagnosis method of the technical objects to realise the tasks received by the controlling subsystem. The investigation object being the basis to illustrate the considerations presented herein, is a municipal-transport bus maintenance system in a selected urban agglomeration. In order to solve the discussed problem it has been assumed that the mathematical model of the bus maintenance process is homogenous Markov process. As a criterion to select (purchase) a specific bus type to be maintained, the usefulness potential usage rate. The paper does not cover investigation of the economic aspects related to the purchase of a specific bus type.

Keywords: diagnosis, homogenous Markov process, maintenance system

## 1. WPROWADZENIE

W artykule przedstawiono metodę diagnozowania przydatności obiektów technicznych do realizacji zadań przyjętych przez podsystem sterujący badanego systemu eksploatacji. Obiektem badań jest system eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej (SEAKM) w wybranej aglomeracji miejskiej. Efekty wynikające z działania analizowanego systemu wiążą się ściśle ze sprawnością zarządzania, rozumianego jako umiejętność sterowania zasobami, procesami i informacjami w celu optymalnego ich wykorzystania w swojej działalności. Ponieważ na rynku istnieje duża różnorodność obiektów technicznych celowym wydaje się opracowanie narzędzia umożliwiającego racjonalny wybór określonego typu autobusu do eksploatacji w analizowanym systemie.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań, na którym zilustrowano rozważania przedstawione w niniejszym opracowaniu, jest system eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej w wybranej aglomeracji miejskiej. Podstawowym celem działania rozpatrywanego systemu jest realizacja efektywnych oraz bezpiecznych przewozów pasażerskich środkami komunikacji autobusowej w wyznaczonym zakresie ilościowym i terytorialnym.

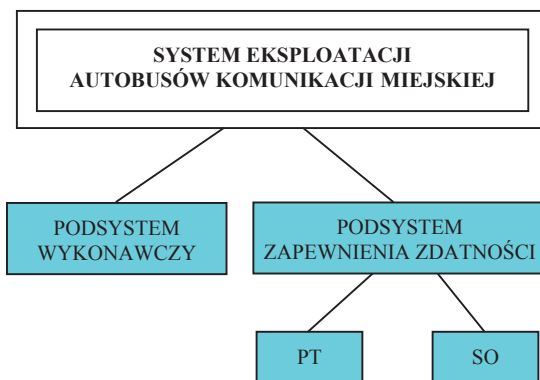
Dla celów pracy w analizowanym systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej wyróżniono dwa główne podsystemy (rys. 1):

- podsystem wykonawczy, złożony z podsystemów elementarnych (kierowca - autobus), które realizują główne zadanie systemu (przewozy pasażerskie);

- podsystem zapewniania zdatności, złożony z poszczególnych jego podsystemów, w których realizowane są czynności diagnostyczne, obsługowe, naprawcze oraz związane z zasilaniem podsystemów elementarnych systemu wykonawczego,

Bezpośrednią realizacją zadań systemu zajmuje się podsystem wykonawczy zawierający podsystemy elementarne typu <C – OT> (kierowca – autobus), w których człowiek jest sprzężony strukturą szeregową z obiektem technicznym. Niezawodność eksploatowanych obiektów technicznych utrzymywana jest na odpowiednim poziomie w wyniku realizacji procesów obsługi w podsystemie zapewniania zdatności. Podsystem zapewnienia zdatności zawiera dwa podsystemy (rys. 1):

- podsystem zapewniania zdatności (stacja obsługi (SO) położona na terenie SEAKM), złożony z poszczególnych jego podsystemów, w których realizowane są czynności diagnostyczne, obsługowe i naprawcze,
- podsystem tzw. terenowych służb lotnych realizujący obsługi przez jednostki pogotowia technicznego (PT) poza obszarem SO.



Rys.1. Schemat uproszczonej struktury analizowanego systemu

Badany system dysponuje dwiema zajezdniami autobusowymi, na terenie których znajdują się stacje obsługi pojazdów:

- Zajezdnia nr 1 ze stacją obsługi nr 1 - SO1,
- Zajezdnia nr 2 ze stacją obsługi nr 2 - SO2.

W stacjach obsługi pojazdów realizowane są procesy zapewniania zdatności oraz procesy diagnostyczne, a w szczególności:

- obsługi w dniu użytkowania,
- okresowe obsługi techniczne,
- naprawy bieżące,
- kontrole stanu technicznego.

W podsystemie zapewniania zdatności istnieje również zbiór jednostek pogotowia technicznego. Do podstawowych zadań tych służb należy przywracanie stanu zdatności, w jak najkrótszym przedziale czasu, autobusom znajdującym się poza terenem zajezdni lub holowanie uszkodzonych autobusów do stacji obsługi (w przypadku braku możliwości ich naprawy poza terenem zajezdni). W tabeli 1 zestawiono ilości poszczególnych typów

pojazdów pogotowia technicznego będących w dyspozycji terenowych służb lotnych.

Tabela 1.

Typy i ilości pojazdów pogotowia technicznego SEAKM

Typ pojazdu jednostki Pogotowia Technicznego	Liczba sztuk	Uwagi
Ikarus 260	2	przystosowany do wymiany kół w autobusach będących na trasie
Kamaz 5320	1	przystosowany do holowania uszkodzonych autobusów
Żuk	5	przystosowany do realizacji napraw na trasie

Po zakończeniu procesów obsługi zdalny zadaniowo pojazd kierowany jest do podsystemu wykonawczego (rezerwowego lub roboczego – jeżeli liczba pojazdów w podsystemie roboczym jest zbyt mała do pełnego zrealizowania zadań przewozowych). Czas trwania obsługi pojazdu (przebywania pojazdu w systemie zapewniania zdatności) ma charakter losowy. W dalszej części rozważań przyjęto, że w analizowanym systemie eksploatowane są obiekty jednorodne.

## 2.1. Wybrane wyniki wstępnych badań eksploatacyjnych

W ramach zrealizowanych w rzeczywistym systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej wstępnych badań eksploatacyjnych dokonano analizy czasów przebywania w wyróżnionych stanach eksploatacyjnych. Badania przeprowadzono w naturalnych warunkach eksploatacji autobusów metodą eksperymentu biernego.

Przedstawione w dalszej części pracy wybrane wyniki badań dotyczą autobusów marki Mann (16 pojazdów) oraz Volvo (90 pojazdów) eksploatowanych w analizowanym systemie i obejmują przedział czasu od 01.01.2003 r. do 30.04.2003 r. W tabeli 2 oraz tabeli 3 przedstawiono wyniki wstępnych badań dotyczące wybranych statystyk czasów:

- poprawnej pracy autobusów ( $T_1$ ),
- odnowy autobusu przez pogotowie techniczne ( $T_2$ ),
- odnowy dokonanej w stacji obsługi ( $T_3$ ),

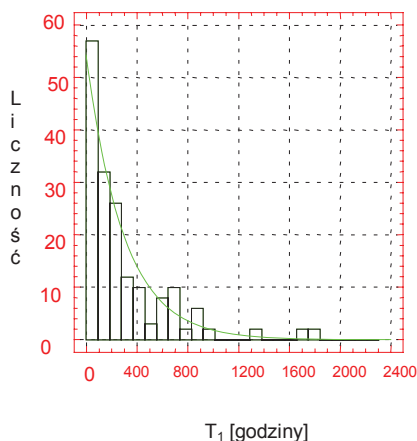
natomiast na rys. 2 przedstawiono rozkład czasu poprawnej pracy autobusów marki Mann w postaci histogramu częstotliwości.

Tabela 2  
Wartości wybranych statystyk badanych cech autobusów marki Volvo

Volvo			
Statystyka	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Liczba obserwacji	823	474	407
Wartość średnia	242,5	1,13	1,67
Odchylenie standardowe	289,9	0,72	0,85
Minimum	0,34	0,03	0,47
Maksimum	2237,67	4,88	7,23
Rozstęp	2237,33	4,85	6,76
Wariancja	84092,40	0,51	0,73
Mediana	143,65	143,65	1,40
Moda	24	1,00	1,07

Tabela 3  
Wartości wybranych statystyk badanych cech autobusów marki Mann

Mann			
Statystyka	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Liczba obserwacji	174	89	87
Wartość średnia	295,06	1,11	1,71
Odchylenie standardowe	353,74	0,54	1,15
Minimum	7,22	0,05	0,23
Maksimum	1824	2,75	6,17
Rozstęp	1816,78	2,70	5,94
Wariancja	125131,0	0,29	1,32
Mediana	165,81	1,15	1,30
Moda	48	1,67	0,92



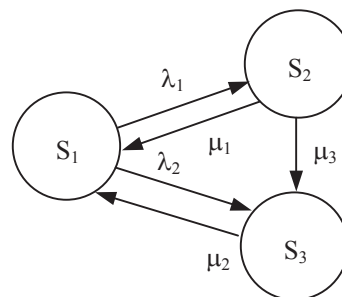
Rys. 2. Histogram czasu poprawnej pracy autobusów marki Mann

Dokonana analiza czasów obsługi wykonanych przez pogotowie techniczne (PT) uwzględniała tylko obsługi w wyniku których nastąpiło opóźnienie w realizacji zadania przewozowego. Natomiast dane dotyczące czasów obsługi wykonanych w stacjach obsługi (SO) obejmowały tylko te, które były skutkiem uszkodzenia OT wykrytego w trakcie realizacji zadania przewozowego (powodującego utratę tzw. kursu).

### 3. MODEL PROCESU EKSPLOATACJI REALIZOWANY W OBIEKCIE BADAŃ

W wyniku identyfikacji obiektu badań wyróżniono trzy, istotne z punktu widzenia celu pracy, stany eksploatacyjne autobusów, tj.:  
 S<sub>1</sub> - stan pracy (realizacja zadań przewozowych),  
 S<sub>2</sub> - stan odnowy realizowanej przez jednostki pogotowia technicznego,  
 S<sub>3</sub> - stan odnowy realizowanej w stacji obsługi,

Przyjęto założenie, że wstępnym matematycznym modelem procesu eksploatacji autobusów jest proces stochastyczny  $\{X(t), t \geq 0\}$ . Analizowany proces stochastyczny  $\{X(t), t \geq 0\}$  ma skończoną przestrzeń fazową  $S, S = \{S_1, S_2, S_3\}$ . Założono, że do opisu procesu eksploatacji analizowanych obiektów technicznych zostanie wykorzystana teoria jednorodnych procesów Markowa. Dokonana analiza przestrzeni stanów oraz zdarzeń eksploatacyjnych dotyczących autobusów umożliwiła zbudowanie grafu skierowanego odwzorowania procesu eksploatacji realizowanego w obiekcie badań, który przedstawiono na rys.3.



Rys. 3. Graf skierowany procesu eksploatacji

Intensywność przejść analizowanego procesu ujęto w tzw. macierzy intensywności przejść  $\Lambda$ :

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \mu_3) & \mu_3 \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 4. MODEL MATEMATYCZNY PROCESU EKSPLOATACJI

Wybór aparatu matematycznego do opisu badanego procesu eksploatacji został dokonany na podstawie następujących przesłanek:

- celu pracy,

- dokładności odwzorowania procesu rzeczywistego przez model,
- stopnia złożoności stosowanego aparatu matematycznego,
- możliwości pozyskania danych, dotyczących procesu eksploatacji realizowanego w obiekcie badań.

W wyniku przeprowadzonej analizy założeń i ograniczeń uznano proces Markowa oraz teorię dotyczącą analizy tego procesu jako najlepsze narzędzie – z punktu widzenia celu badań – do matematycznego modelowania rzeczywistego procesu eksploatacji realizowanego w obiekcie badań. Proces stochastyczny  $X(t)$  będący jednorodnym procesem Markowa o skończonym zbiorze stanów  $S$  można w pełni określić za pomocą:

- rozkładu początkowego procesu  $X(t)$ ,
- macierzy  $\Lambda$  intensywności zmian stanów procesu  $X(t)$ .

Wykorzystując do matematycznego modelowania procesu eksploatacji jednorodny proces Markowa, w pracy przyjęto podstawowe założenie, że proces ten dostatecznie dobrze, z punktu widzenia celu badań, odwzorowuje modelowany rzeczywisty proces eksploatacji.

#### 4.1. Macierzowy algorytm rozwiązania układu równań różniczkowych dla procesu Markowa

Wykorzystując teorię procesów Markowa można dla analizowanego modelu procesu eksploatacji wyznaczyć prawdopodobieństwa  $P_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3$ , znajdowania się obiektów technicznych w wyróżnionych stanach eksploatacyjnych  $S_i$ . W tym celu należy rozwiązać układ równań różniczkowych A. N. Kołmogorowa postaci:

$$P'(t) = P(t)\Lambda, \quad (1)$$

gdzie:

$P'(t)$  - wektor kolumnowy złożony z pochodnych  $P_i'(t)$ ,

$P(t)$  - wektor prawdopodobieństw  $P_i(t)$ ,

$\Lambda$  - macierz intensywności zmian stanów procesu.

W celu wyznaczenia wartości  $P_i(t)$ ,  $i=1, 2, 3$ , opracowano algorytm obliczeniowy i napisano program komputerowy w języku Turbo Pascal v. 6.0 [3].

#### 5. MODEL WYNIKOWY PROCESU EKSPLOATACJI

W celu weryfikacji założenia, że do matematycznego modelowania procesu eksploatacji transformatorów można wykorzystać jednorodny proces Markowa o skończonej przestrzeni stanów, zrealizowano badania eksploatacyjne w rzeczywistym systemie eksploatacji.

Jednym z celów badań było określenie rozkładów zmiennych losowych  $T_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , oznaczających czasy trwania analizowanych stanów

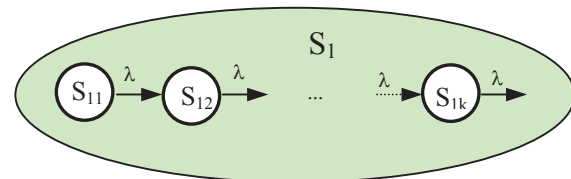
eksploatacyjnych  $S_i \in S$  autobusów marek Mann i Volvo. Dla każdego ze stanów  $S_i$  ( $i=1,2,3$ ) zweryfikowano hipotezę zerową  $H_0$ , że empiryczny rozkład zmiennej losowej  $T_i$  jest zgodny z rozkładem wykładniczym. Do weryfikacji przyjętej hipotezy wykorzystano test zgodności  $\chi^2$  (Pearsona). Dla zmiennych losowych  $T_i$ ,  $i=1,2,3$ , (Mann) oraz  $T_i=2,3$ , (Volvo) stwierdzono brak podstaw do odrzucenia weryfikowanej hipotezy (na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ ). Dla zmiennej losowej  $T_1$  (oznaczającej czas poprawnej pracy autobusów marki Volvo) odrzucono weryfikowaną hipotezę. Natomiast uzyskano brak podstaw do odrzucenia weryfikowanej hipotezy zgodności empirycznego rozkładu analizowanej zmiennej losowej z rozkładem Erlanga. Wówczas zmienną losową  $T_1$  można przedstawić w postaci [2]:

$$T_1 = T_{11} + T_{12} + \dots + T_{1k}, \quad (2)$$

gdzie:

$T_{1i}$  - niezależne zmienne losowe o rozkładzie wykładniczym z parametrem  $\lambda$ .

Ze stanu  $S_{1i}$  ( $1 \leq i \leq k-1$ ) możliwe jest tylko przejście w stan  $S_{1i+1}$ . Graficznie interpretację transformacji (dekompozycji) stanu  $S_1$  przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Graf skierowany odwzorowujący transformację stanu  $S_1$

Rozkład Erlanga charakteryzuje się dystrybuantą postaci:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \left\{ 1 + \frac{\lambda x}{1!} + \frac{(\lambda x)^2}{2!} + \dots + \frac{(\lambda x)^{k-1}}{(k-1)!} \right\}, \quad (3)$$

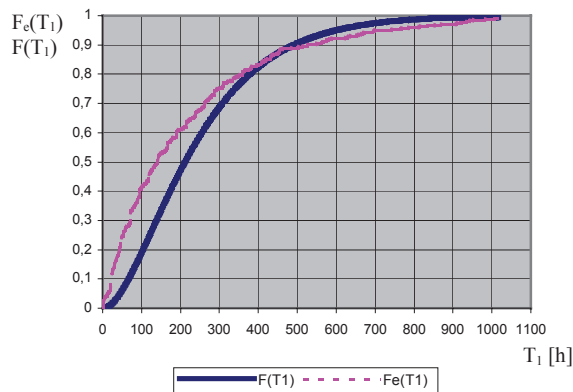
$$x \geq 0, \lambda > 0, k \in \mathbb{N}_+$$

Jako kryterium optymalnego doboru wartości parametrów  $\lambda$  oraz  $k$  przyjęto minimum sumy kwadratów odchylenia wartości dystrybuanty rozkładu Erlanga  $F(x)$  od wartości dystrybuanty empirycznej  $F_e(x)$ :

$$S(\lambda, k) = \sum_{i=1}^m [F(x_i) - F_e(x_i)]^2. \quad (4)$$

W celu estymacji wartości parametrów  $k$  oraz  $\lambda$  opracowano algorytm obliczeniowy.

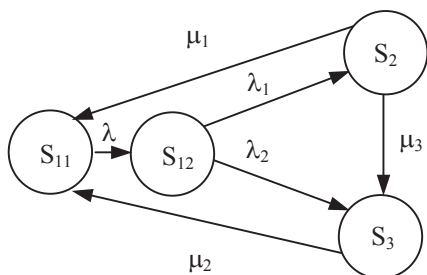
Zmiany wartości dystrybuanty empirycznej  $F_e(T_1)$  zmiennej losowej  $T_1$  (czas trwania stanu  $S_1$  autobusów marki Volvo) oraz teoretycznej  $F(T_1)$  (dla wyestymowanych wartości parametrów,  $k = 2$ ,  $\lambda = 0,0079$ ) przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zmiany wartości dystrybuanty teoretycznej  $F(T_1)$  oraz empirycznej  $F_e(T_1)$

W ten sposób, kosztem rozszerzenia przestrzeni stanów, dokonano transformacji procesu  $\{X(t), t \geq 0\}$  o przestrzeni stanów  $S$  do procesu  $\{Y(t), t \geq 0\}$  o przestrzeni stanów  $ST$ , dla którego rozkłady czasów trwania stanów są rozkładami wykładniczymi. Proces  $\{Y(t), t \geq 0\}$  jest modelem procesu eksploatacji autobusów marki Volvo realizowanym w obiekcie badań.

Graf skierowany odwzorowania procesu eksploatacji realizowanego w obiekcie badań uwzględniający transformację stanu  $S_1$  przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Graf skierowany odwzorowania procesu eksploatacji autobusów marki Volvo

### 6. DIAGNOZOWANIE PRZYDATNOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH DO UŻYTKOWANIA W SYSTEMIE EKSPLOATACJI

W systemie eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej eksploatowane są różnorodne autobusy. W przypadku konieczności zakupu pojazdu istotnym problemem dla decydentów systemu jest racjonalny wybór jego typu. W niniejszym artykule jako kryterium zakupu określonego rodzaju obiektu technicznego, przyjęto wskaźnik wykorzystania potencjału użytkowego, który opisano zależnością:

$$W_u(t_a) = \frac{\int_0^{t_a} P_1(t) dt}{t_a}, \quad (5)$$

gdzie:

- $t_a$  – czas analizy,
- $P_1(t)$  – prawdopodobieństwo przebywania autobusu w stanie pracy.

Ponieważ wartość tego wskaźnika zależy od wartości parametrów opisujących model (procesu eksploatacji autobusu danego typu) może stanowić on sygnał diagnostyczny dla decydentów systemu odnośnie przydatności danego rodzaju obiektu do eksploatacji w istniejących warunkach działania systemu.

W celu ilustracji rozważań wyznaczono wartości wskaźnika  $W_u(t_a)$  dla dwóch wybranych marek autobusów. Dane dotyczące wartości oczekiwanej  $E(T_1)$  czasu poprawnej pracy analizowanych obiektów technicznych zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4.

Wartości oczekiwane czasu poprawnej pracy autobusów analizowanych marek oraz wyznaczona wartość parametru  $k$

Marka autobusu	Volvo	Mann
wartość $E(T_1)$ [h]	242,50	295,06
$k$	2	1

Pozostałe podstawowe dane opisujące model procesu eksploatacji autobusów wybranych marek podano w tabeli 5 i tabeli 6. Na rysunku 7 przedstawiono zależność prawdopodobieństwa  $P_1$  od czasu  $t$ , dla obu rozważanych marek, natomiast w tabeli 7 przedstawiono wartości wskaźnika wykorzystania potencjału użytkowego dla przyjętych wariantów obliczeń oraz czasu analizy  $t_a=100$  godzin.

Tabela 5.

Dane wejściowe do obliczeń autobusu marki Mann

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
0,0017	0,0016	0,6216	0,5848	0,2793

Tabela 6.

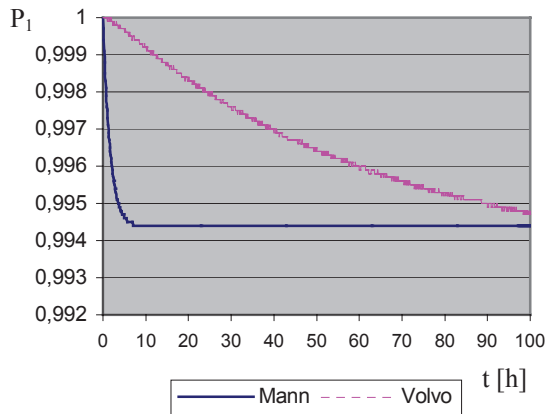
Dane wejściowe do obliczeń autobusu marki Volvo

$\lambda$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
0,0079	0,0042	0,0036	0,5575	0,5988	0,3274

Tabela 7.

Wartości wskaźnika  $W_u$  dla poszczególnych wariantów obliczeń

WARIANT	Mann	Volvo
$W_u$	0,9912	0,9961



Rys. 7. Zależność prawdopodobieństwa  $P_1$  od czasu  $t$  dla przyjętych wariantów obliczeń

Z analizy wartości badanego wskaźnika wynika, że dla przyjętego kryterium korzystniejszy byłoby zakup autobusu marki Volvo.

## 7. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model procesu eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej charakteryzuje się znacznym uproszczeniem. Jednak przedstawiony sposób budowy tego typu modelu i jego analizy wskazuje na możliwość jego wykorzystania do wstępnego diagnozowania przydatności obiektów technicznych do użytkowania w konkretnym systemie eksploatacji.

Do analizy problematyki poruszonej w pracy, najczęściej (w literaturze przedmiotu) wykorzystuje się prawdopodobieństwa graniczne  $p_i^* = \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Ocena wartości prawdopodobieństw granicznych  $p_i^*$  nie pozwala jednak na rozwiązanie omawianego problemu ze względu na sposób wyznaczania w pracy analizowanego wskaźnika wykorzystania potencjału użytkowego.

W dalszych badaniach omawianego problemu należałoby uwzględnić dodatkowo kryterium ekonomiczne.

## LITERATURA

- [1] Bobrowski D.: Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach. WNT, Warszawa 1985.
- [2] Buslenko N., Kałasznikow W., Kowalenko I.: Teoria systemów złożonych. PWN, Warszawa 1979.
- [3] Knopik L., Landowski B., Perczyński D., Prognozowanie stanu systemu eksploatacji transformatorów rozdzielczych na podstawie badań modelowych. Zagadnienia eksploatacji maszyn nr 4 (132), vol. 37, PAN, Radom 2002, ss. 163-175.
- [4] Sołowiew A.D.: Analityczne metody w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1983.



**Prof. dr hab. inż. Maciej WOROPAY** jest kierownikiem Katedry Eksploatacji Maszyn Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii niezawodności i bezpieczeństwa oraz sterowania procesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego. Jest autorem i współautorem ponad 100 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą, autorem podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 150 prac magisterskich i inżynierskich oraz prac doktorskich.



**Dr inż. Bogdan LANDOWSKI** jest kierownikiem Zakładu Eksploatacji Systemów Technicznych w Katedrze Eksploatacji Maszyn Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi modelowania procesów i systemów eksploatacji oraz sterowania procesami realizowanymi w złożonych systemach eksploatacji. Prowadzi badania dotyczące zagadnień efektywności działania systemów eksploatacji środków transportu miejskiego i realizuje badania eksploatacyjne w tych systemach. Wyniki swoich prac publikuje w kraju i za granicą. Jest współautorem kilku książek. A ponadto jest autorem i współautorem ponad 30 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą, promotorem prac magisterskich i inżynierskich.



**Dr inż. Daniel PERCZYŃSKI** pracuje w Pracowni Eksploatacji Sieci i Urządzeń Elektroenergetycznych Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi analizy możliwości obniżenia strat energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych oraz sterowaniem procesami realizowanymi w złożonych systemach technicznych. Jest autorem i współautorem ponad 20 artykułów opublikowanych na konferencjach krajowych oraz międzynarodowych.