ANALYSIS OF A SELECTED TRANSPORT SYSTEM OPERATION EFFICIENCY WITH THE USE OF SEMI-MARKOV MODEL

EFEKTYWNOŚCIOWA ANALIZA JAKOŚCI DZIAŁANIA WYBRANEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO Z ZASTOSOWANIEM MODELU SEMI-MARKOWA

Lukasz Muslewski, Michał Lewalski, Klaudiusz Migawa

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
e-mail: lukasz.muslewski@utp.edu.pl; michal.lewalski@utp.edu.pl;
klaudiusz.migawa@utp.edu.pl

Abstract: This study deals with the problems connected with quality assurance for transport systems operation. The research was performed using data from a real transport system. The concept of a system operation quality was defined on the basis of which a schematic assessment model was developed and a random process was described to be used for its evaluation. Qualitative states of a system operation reflecting value ranges of the obtained evaluations in given times were identified in result of the experimental tests performed as part of the research. A model of a system operation efficiency evaluation was developed for the analyzed technical objects with the use of semi-Markov theory.

Key words: system operation quality, efficiency, process model, semi-Markov process

Streszczenie: Rozważania w niniejszym opracowaniu dotyczą problematyki oceny, analizy i zapewnienia odpowiedniej jakości działania systemów transportowych. Zidentyfikowano obiekt badań, którym jest rzeczywisty system transportowy, zaprezentowano schemat modelu ocenowego oraz opisano proces losowy, na podstawie którego dokonuje się jego oceny. W wyniku zrealizowanych badań eksploatacyjnych, wyróżniono stany jakościowe działania systemu, odwzorowujących przedziały wartości otrzymanych ocen w danych chwilach czasu. W dalszej części artykułu przedstawiono model oceny efektywności działania systemu eksploatacji rozpatrywanych obiektów technicznych, zbudowany z zastosowaniem teorii procesów semi-Markowa.

Słowa kluczowe: jakość systemu, transport, efektywność, model procesu, proces semi-Markowa

1. Wprowadzenie

Ogół rozważań w niniejszym opracowaniu dotyczy problematyki sterowania i oceny jakości działania systemów eksploatacji wybranych obiektów technicznych. Należy mieć na uwadze, że systemy te należą do systemów socjotechnicznych typu <C-M-O>, w których na jakość ich działania mają wpływ sterujący nimi operatorzy, wyposażenie i stan techniczny eksploatowanych obiektów technicznych oraz oddziaływanie czynników pochodzących z otoczenia. Zdefiniowano, że: „Jakość systemu - to zbiór cech systemu wyrażonych za pomocą ich wartości liczbowych, w danej chwili t , wyznaczających stopień spełnienia stawianych wymagań” [7].

W związku z powyższym, w celu budowy modelu ocenowego danego systemu, należy ustalić licznosc i istotność zbioru kryteriów oceny, na podstawie których wyznacza się cechy opisujące system, z punktu widzenia jakości jego działania.

Proces oceny polega na zastosowaniu każdego kryterium ze zbioru X do opisujących je cech, i na tej podstawie określeniu czy i w jakim stopniu dane kryterium zostało spełnione, w danej chwili t (w czasie podejmowania ocen) [4].

Mając na uwadze adekwatność budowanego modelu wynikowego, należy podkreślić, iż istotnym zagadnieniem w ocenie jakości działania systemów, jest identyfikacja oraz ustalenie ważności kryteriów oceny, stanowiących główny czynnik w procesie ocenowym. Natomiast wyznaczenie zbioru: istotnych, zmiennych, nieskorelowanych i mierzalnych cech, a następnie ocena ich wartości w danych chwilach czasu, wyznaczają poziom i decydują o zmianie stanów jakościowych działania systemu.

Ocena jakościowa działania systemów

W niniejszym rozdziale zawarto opis zasad, na podstawie których sformułowano metodę oceny jakości działania systemów eksploatacji wybranych obiektów technicznych [5,6,8].

Założono, że oceniający ustala zbiór kryteriów oceny jakości działania systemu K . Następnie dokonuje identyfikacji obiektu badań, i na tej podstawie, mając na uwadze postawione kryteria, wyznacza zbiór cech - X opisujących system, z punktu widzenia jakości jego działania.

Należy mieć na uwadze, że zbiór cech przyjętych do opisu jakości badanego systemu, składa się z dwóch podzbiorów: cech mierzalnych i cech niemierzalnych. Cechy niemierzalne to te, które są „poza zasięgiem” możliwości ich pomiaru na skutek trudności natury technicznej lub na skutek niewiedzy badacza.

Dla każdej cechy mierzalnej opisującej badany system X_{Mi} ($i = 1, 2, \dots, n$), należy podać dopuszczalne granice ich zmienności $X_{M,i}^{\min}$, $X_{M,i}^{\max}$, odpowiadające poprawnej (pożądaney) jakości działania systemu.

Podobnie dla każdej cechy umownie niemierzalnej, X_{Nj} ($j = 1, 2, \dots, m$), należy ustalić warunki poprawnej jakości w taki sposób, aby było możliwe jednoznaczne stwierdzenie czy dana cecha je spełnia. W tym celu cechom niemierzalnym przyporządkowuje się różne wartości od 0 do m . Oznacza to, że w danej chwili t , system działa z wymaganą jakością tylko wówczas, gdy wartości jego cech mierzalnych zawierają się w ustalonych granicach oraz cechy niemierzalne spełniają ustalone warunki poprawnej (pożądaney) jakości jego działania.

Proces oceny polega na sprawdzeniu, czy i w jakim stopniu poszczególne cechy ze zbioru X spełniają postawione kryteria K . Ocena dokonana zostaje na podstawie pomierzonych wartości cech w chwili t (cechy mierzalne), lub stanów w których się one znajdują w danej chwili t (cechy niemierzalne), poprzez przyporządkowanie im odpowiednich wyróżników. W związku z tym poziom jakości działania systemu w danej chwili t , wyznacza zbiór wartości istotnych cech $\{X_i\}$ $i = 1, 2, \dots, p$ przyjętych do jej opisu, z ustalonego punktów widzenia. Niech $X_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, p$, oznacza cechę, będącą zmienną losową zależną od czasu, której realizacja w danej chwili t opisuje jakość działania systemu. Rozważa się wektor cech jakości postaci:

$$X(t) = \langle X_1(t), X_2(t), \dots, X_p(t) \rangle \quad (1)$$

Składowa $X_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, p$, wektora $X(t)$, jest jednowymiarowym procesem losowym w przestrzeni R , opisującym i -tą cechę jakości działania systemu, przy czym wektor $X(t)$ jest p -wymiarowym procesem losowym opisującym całościowo jakość działania systemu w przestrzeni R^p , w danej chwili t .

W celu wyznaczenia oceny jakości działania badanego systemu, należy wyznaczyć taki zbiór istotnych cech jakości $Z = X_i$, $i = 1, 2, \dots, p$, który dzieli się na n – rozłącznych podzbiorów $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$, spełniających poniższe zależności:

$$Z_i \cap Z_j = \emptyset \text{ dla } i \neq j;$$

$$Z(t) = Z_1(t) \cup Z_2(t) \cup \dots \cup Z_n(t) \quad (2)$$

Mając na uwadze, że opracowanie dotyczy oceny jakości działania systemów typu $\langle C-M-O \rangle$, których elementami są: człowiek (operator), maszyna (obiekt techniczny), otoczenie, w związku z tym wynikowy model oceny jakości jego działania przyjmuje postać, opisaną poniższą zależnością:

$$Z_1(t) = \{X_1(t), \dots, X_{k_1}(t)\}$$

$$Z_2(t) = \{X_{k_1+1}(t), \dots, X_{k_2}(t)\} \quad (3)$$

$$Z_3(t) = \{X_{k_2+1}(t), \dots, X_{k_3}(t)\}$$

gdzie: $k_3 = p$.

W niniejszych rozważaniach przyjęto, że ocena jakości działania systemu jest odwzorowaniem postaci:

$$Y: T \times \Omega \rightarrow R \quad (4)$$

co oznacza, że $Y(t, \omega)$, $t \in T$, $\omega \in \Omega$, jest miarą jakości działania systemu w chwili t , zależną od zdarzenia elementarnego ω , gdzie:

- Y - miara oceny jakości działania systemu, będąca funkcją wektora zmiennej losowej $X(t)$, (odzwierciedlająca długość wektora $\overline{\Delta K}$),
- $T = \langle 0, +\infty \rangle$ - zbiór chwil czasowych,
- Ω - zbiór zdarzeń elementarnych ω ,
- R - zbiór liczb rzeczywistych.

Dla badanego systemu definiuje się proces losowy, odzwierciedlający jakość działania systemu, postaci:

$$Z_x(t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i X_i(t) \quad (5)$$

gdzie: $\alpha_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^p \alpha_i = 1$, $i = 1, 2, \dots, p$, oznaczają wartości wag jakościowych dla poszczególnych cech, wyznaczających jakość działania badanego systemu.

$Z_x(t)$ – jest procesem losowym, będącym skończoną mieszaniną procesów $X_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, p$. Dla procesu $Z_x(t)$ oczywista jest nierówność:

$$Z_x(t) \leq \sum_{i=1}^p \alpha_i q_i \quad (6)$$

gdzie: $t \in T$, q_i – oznacza wartość maksymalną, pożądaną dla poszczególnych cech.

Opis jakościowych stanów działania systemu

Ponieważ w modelu wynikowym oceny jakości działania systemu wyróżnia się również cechy, dla których wartości jak najmniejsze odzwierciedlają stan pożądany, jak i ich przedziały zmienności są różne, dlatego w celu jednoznaczności interpretacji otrzymanych wyników badań, dokonuje się ich przekodowania na zakres $<0, 10>$ według zależności (7).

$$\text{Range} = 10 \cdot (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (7)$$

gdzie: $X_{\min} = \text{Min} \{X_i\}$, $X_{\max} = \text{Max} \{X_i\}$.

Na tej podstawie znając wartość działania systemu w przedziale $<0, 10>$, w danych chwilach czasu t , określa się w jakim stanie jakościowym znajduje się system.

Wyróżniono 4 stany jakościowe, które odzwierciedlają wartości z przyjętego zakresu:

- I stan – „pożądany” - odzwierciedla wartości z przedziału $<8, 10>$. Stan ten jest odpowiednikiem wzorcowej lub pożądanej jakości działania systemu.
- II stan – „dopuszczalny” – $<5.5, 8>$, to stan poprawnego działania systemu, który nie wymaga podejmowania działań, w celu osiągnięcia stanu I, natomiast przejście do niego związane jest z podjęciem decyzji strategicznej np. wymiany obiektów technicznych lub operatorów, którzy w ewidentny sposób zaniżają jego poziom.
- III stan – „ograniczony: – $<4, 5.5>$. Stan ten odzwierciedla graniczny poziom jakości działania systemu, w którym realizacja zadania odbywa się niezgodnie z wymaganiami i niezbędna jest interwencja (zmiana operatora, przywrócenie stanu całkowitej zdolności obiektu technicznego, ograniczenie lub wyeliminowanie negatywnych czynników zewnętrznych pochodzących z otoczenia), w celu osiągnięcia I lub II stanu jakości działania systemu.

IV stan – „krytyczny” – $<0, 4$) – uniemożliwia możliwość realizacji zadania przez system. Wymaga odnowy, wymiany lub modernizacji gwarantującej przynajmniej II poziom jakości jego działania.

Na podstawie powyższych rozważań, dla rozpatrywanego obiektu badań, zbudowano graf przejść stanów jakościowych działania systemu. Graf odzwierciedlający możliwe przejścia, pomiędzy czterema wyróżnionymi stanami przedstawiono na rysunku 1.

Rys. 1 Graf zmian stanów procesu

2. Model semi-markowski procesu zmian stanów jakościowych

Proces semi-Markowa jest uogólnieniem procesu Markowa, gdzie przedziały czasowe między przejściami do poszczególnych stanów mogą być zmiennymi losowymi, które zależą od aktualnego stanu i możliwości wystąpienia następnego [1,2,3].

Naturalnym sposobem podejścia do procesu semi-Markowa jest teoria odnowy, w której przedziały czasowe między pojawieniem się zdarzeń nie muszą posiadać rozkładu wykładniczego.

Z tego powodu dobrze jest określić ciąg odnowy Markowa jako ciąg dwuwymiarowej zmiennej losowej.

Dwa elementy dwuwymiarowej zmiennej losowej są czasem obserwacji S_n , n -tego przejścia do innego stanu i , odnośnie n -tej obserwacji Y_n , $n \in N_0$, $Y_n \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$. Całkowite prawdopodobieństwo zaistnienia obserwacji $Y_{n+1} = j$ w okresie między wejściami $S_{n+1} - S_n \leq t$, która w zależności od historii obserwacji, spełnia właściwość Markowa:

$$P\{Y_{n+1}=j, S_{n+1}-S_n \leq t | Y_n=i, S_n, Y_{n-1}, S_{n-1}, \dots, Y_0, 0\} = P\{Y_{n+1}=j, S_{n+1}-S_n \leq t | Y_n=i\} \quad (8)$$

Niech:

$$P\{Y_{n+1} = j, S_{n+1} - S_n \leq t \mid Y_n = i\} = Q_{ij}(t). \quad (9)$$

Ostatecznie, proces semi-Markowa jest procesem stochastycznym który rejestruje stan procesu odnowy w każdej chwili czasu. Formalizując, niech $\{(Y_n, S_n), n \geq 0\}$ będzie ciągiem odnowy Markowa. Niech stan:

$$N(t) = \sup \{n \geq 0: S_n \leq t\}, \text{ oraz } X(t) = Y_{N(t)}. \quad (10)$$

Wówczas proces stochastyczny $\{X(t), t \geq 0\}$ oznacza się jako proces semi-Markowa a proces Y_n nazywa się włożonym łańcuchem Markowa w proces $X(t)$.

Jak zdefiniowano w równaniu (9) macierz $Q(t) = [Q_{ij}(t)]$ nazwano jądrem procesu semi-Markowa. Następnie omówiono kilka właściwości procesu semi-Markowa które pomogą w ich klasyfikacji.

Proces semi-Markowa jest jednorodny czasowo, jeżeli na prawdopodobieństwo ma wpływ tylko przedział czasu do chwili przejścia do następnego stanu a nie chwila kiedy przedział ten się zaczyna.

$$P\{Y_{n+1} = j, S_{n+1} - S_n \leq t \mid Y_n = i\} = P\{Y_1 = j, S_1 \leq t \mid Y_0 = i\} \quad (11)$$

Proces semi-Markowa nazywa się regularnym, jeżeli w skończonym przedziale czasowym liczba zmian stanów jest skończona.

Procesu semi-Markowa nie można zredukować, jeżeli z każdego stanu można przejść do każdego innego. W takim przypadku mówi się, że stany komunikują się ze sobą. Stan nazywa się powtarzającym się, jeżeli proces wraca do stanu j w okresie krótszym niż nieskończoność, inaczej zwanym przejściowym (jeżeli nigdy nie powraca). Stan oznacza się jako pozytywnie powtarzającym się jeżeli powraca i spodziewany powrót do stanu i , zakładając, że proces rozpoczął się w i , jest krótszy niż nieskończoność. W procesie semi-Markowa stan powtarzający się nazywa się aperiodycznym, jeżeli można do niego przejść w każdej chwili.

3. Budowa modelu matematycznego oraz analiza efektywnościowa działania systemu

W dalszej części artykułu został zbudowany model (metoda) oceny efektywności działania systemu eksploatacji obiektów technicznych zbudowany z zastosowaniem teorii procesów semi-Markowa. W artykule zamieszczono model zdarzeniowy procesu (graf i opis stanów modelu), model matematyczny procesu (semimarkowski) oraz charakterystyki oceny efektywności (opracowane na podstawie modelu procesu). Wartości wejściowe modelu opracowano na podstawie badań systemu eksploatacji (dane eksploatacyjne) oraz wyznaczonych wartości charakterystyk oceny efektywności.

Wyznaczenie wartości wskaźników oceny efektywności działania systemu transportowego

Do wyznaczenia wartości wskaźników oceny efektywności działania systemu transportowego (średni jednostkowy przychód, średni jednostkowy koszt oraz średni jednostkowy dochód) należy wyznaczyć:

- wartości elementów macierzy P prawdopodobieństw zmian stanów dla łańcucha Markowa:

$$P = \begin{vmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & 0 & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & 0 & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (12)$$

- wartości elementów macierzy Θ warunkowych czasów trwania stanów modelowanego procesu $X(t)$:

$$\Theta = \begin{vmatrix} 0 & \bar{\theta}_{12} & \bar{\theta}_{13} & \bar{\theta}_{14} \\ \bar{\theta}_{21} & 0 & \bar{\theta}_{23} & \bar{\theta}_{24} \\ \bar{\theta}_{31} & \bar{\theta}_{32} & 0 & \bar{\theta}_{34} \\ \bar{\theta}_{41} & \bar{\theta}_{42} & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (13)$$

gdzie $\bar{\theta}_{ij}$ – wartości średnie warunkowych czasów trwania stanów procesu (oznaczające czas trwania stanu S_i pod warunkiem, że następnym stanem będzie stan S_j).

Następnie na podstawie macierzy P oraz macierzy Θ wyznaczono wartości średnie $\bar{\theta}_i$ bezwarunkowych czasów trwania stanów procesu, według zależności

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_1 &= p_{12} \cdot \bar{\theta}_{12} + p_{13} \cdot \bar{\theta}_{13} + p_{14} \cdot \bar{\theta}_{14} \\ \bar{\theta}_2 &= p_{21} \cdot \bar{\theta}_{21} + p_{23} \cdot \bar{\theta}_{23} + p_{24} \cdot \bar{\theta}_{24} \\ \bar{\theta}_3 &= p_{31} \cdot \bar{\theta}_{31} + p_{32} \cdot \bar{\theta}_{32} + p_{34} \cdot \bar{\theta}_{34} \\ \bar{\theta}_4 &= p_{41} \cdot \bar{\theta}_{41} + p_{42} \cdot \bar{\theta}_{42} \end{aligned} \quad (14)$$

prawdopodobieństwa graniczne p_i^* przebywania w stanach procesu semi-Markowa (wyznaczone na podstawie twierdzenia granicznego dla procesów semimarkowskich), przedstawione następującymi zależnościami:

$$\begin{aligned} p_1^* &= \frac{b \cdot p_{23} \cdot \bar{\theta}_1}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2} \\ p_2^* &= \frac{(1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2} \\ p_3^* &= \frac{p_{23} \cdot \bar{\theta}_3}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - p_{13} \cdot b) \cdot \bar{\theta}_2} \\ p_4^* &= \frac{a \cdot p_{23} \cdot \bar{\theta}_4}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - p_{13} \cdot b) \cdot \bar{\theta}_2} \end{aligned} \quad (15)$$

dla każdego stanu modelu należy wyznaczyć:

- w_i , $i \in S$ – średni jednostkowy przychód generowany w wyniku przebywania procesu $X(t)$ w i -tym stanie,
- k_i , $i \in S$ – średni jednostkowy koszt generowany w wyniku przebywania procesu $X(t)$ w i -tym stanie.

Na tej podstawie można wyznaczyć średni jednostkowy przychód, średni jednostkowy koszt oraz średni jednostkowy dochód, których wartości generowane są w wyniku realizacji analizowanego semi-markowskiego procesu $X(t)$:

– średni jednostkowy przychód:

$$W = \frac{p_{23} \cdot (w_1 \cdot b \cdot \bar{\theta}_1 + w_3 \cdot \bar{\theta}_3 + w_4 \cdot a \cdot \bar{\theta}_4) + w_2 \cdot (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2} \quad (16)$$

– średni jednostkowy koszt:

$$K = \frac{p_{23} \cdot (k_1 \cdot b \cdot \bar{\theta}_1 + k_3 \cdot \bar{\theta}_3 + k_4 \cdot a \cdot \bar{\theta}_4) + k_2 \cdot (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2} \quad (17)$$

– średni jednostkowy dochód (zysk):

$$D = W - K = \frac{p_{23} [(w_1 - k_1) \cdot b \cdot \bar{\theta}_1 + (w_3 - k_3) \cdot \bar{\theta}_3 + (w_4 - k_4) \cdot a \cdot \bar{\theta}_4] + (w_2 - k_2) \cdot (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2}{p_{23} \cdot (b \cdot \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_3 + a \cdot \bar{\theta}_4) + (1 - b \cdot p_{13}) \cdot \bar{\theta}_2} \quad (18)$$

4. Podsumowanie

W pracy omówiono problematykę oceny jakości działania złożonych systemów eksploatacji, na podstawie wyróżnionego obiektu badań. Rozważono budowę modelu zmian stanów jakościowych działania systemu transportowego opartą o łańcuch Markowa wpisany w pewien proces semi-Markowa. Na podstawie danych eksploatacyjnych, w wybranym okresie czasu, wyznaczono rozkład graniczny procesu semi-Markowa. Rozkład ten odzwierciedla zachowanie systemu, przy dostatecznie długim czasie działania. Wyniki numerycznych badań symulacyjnych systemu, mogą dać podstawy do wypracowania modyfikacji tego modelu, w celu poniesienia jakości działania systemu, co będzie stanowić przedmiot dalszych badań.

5. Literatura

- [1] Grabski F., Semi-markowskie modele niezawodności i eksploatacji, Polska Akademia Nauk, Instytut Badań Systemowych, Warszawa 2002.
- [2] Jaźwiński J., Grabski F.: Niektóre problemy modelowania systemów transportowych. ITeE, Warszawa-Radom 2003.
- [3] Knopik L.: Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2010.

- [4] Muślewski, Ł.: Evaluation Method of Transport Systems Operation Quality. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18, No. 2A, Hard Olsztyn, Olsztyn 2009.
- [5] Muślewski Ł.: Control Method for Transport System Operational Quality. Journal of KONES and Transport, Vol. 16, No. 3, Warsaw 2009.
- [6] Muślewski, Ł.: Study and assessment of transport system operation efficiency. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 17, No. 4, Warsaw 2010.
- [7] Woropay, M., Muślewski, Ł.: Jakość w ujęciu systemowym. ITEE, Radom 2005.
- [8] Woropay M., Muślewski Ł., Pięta A., Niezgoda T., Żurek J.: The application example of the evaluation model In the case of the transport system operation quality. ACSIM, vol.II, New Delhi 2004.

Prof. nadzw. dr hab. inż. Łukasz Muślewski jest kierownikiem Zakładu Transportu i Eksploatacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami jakości działania złożonych systemów eksploatacji a w szczególności systemów transportowych. Realizuje badania z zakresu niezawodności, bezpieczeństwa, efektywności i ekologiczności systemów socjotechnicznych, w których na jakość ich działania mają wpływ operatorzy, sterowane przez nich obiekty techniczne oraz czynniki oddziałujących z otoczenia.

Mgr inż. Michał Lewalski jest pracownikiem Zakładu Transportu i Eksploatacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problematyką eksploatacji, a w szczególności efektywności środków transportu. Jest opiekunem Koła Naukowego Transportowców.

Dr hab. inż. Klaudiusz Migawa, prof. nadzw. UTP. Pracownik naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Transportu i Eksploatacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problematyką oceny i sterowania poziomem efektywności, niezawodności, gotowości oraz bezpieczeństwa złożonych systemów eksploatacji obiektów technicznych. Autor i współautor około 80 prac naukowych głównie z zakresu modelowania systemów i procesów eksploatacji środków transportu z zastosowaniem procesów Markowa i semi-Markowa.

Analysis of a selected transport system operation efficiency with the use...

Efektywnościowa analiza jakości działania wybranego systemu transportowego...