

Łukasz MUŚLEWSKI  
Maciej WOROPAY  
Piotr BOJAR

### **BADANIE I OCENA WPŁYWU SKUTECZNOŚCI REALIZOWANYCH NAPRAW NA NIEZAWODNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO**

*Systemy transportowe, a w szczególności środki transportu w nich eksploatowane, są źródłem różnego rodzaju zagrożeń: życia i zdrowia ludzi oraz degradacji środowiska naturalnego. Czynniki eksploatacyjne oddziałujące na elementy obiektów technicznych wywołują niekorzystne zmiany wartości istotnych cech elementów powodując ich uszkodzenia. Wśród czynników wymuszających można wyróżnić czynniki wynikające z niewłaściwego działania człowieka oraz wynikające z oddziaływań otoczenia na obiekty techniczne. Uszkodzenia są zdarzeniami, które mają istotny wpływ na obniżanie niezawodności i efektywności działania pojazdów. W opracowaniu, uszkodzenie zdefiniowano jako przekroczenie dopuszczalnych wartości granicznych przez istotne cechy opisujące obiekt techniczny. Na podstawie zrealizowanych badań eksploatacyjnych, dotyczących chwil wystąpienia uszkodzeń stwierdzono, że zbiór uszkodzeń można podzielić na podzbiory uszkodzeń pierwotnych oraz wtórnych. Wyniki badań wykazały, że przyczyną powstawania uszkodzeń wtórnych są, z reguły, niewłaściwie realizowane naprawy uszkodzeń pierwotnych. Uszkodzenia pierwotne są niezależne od siebie i występują w sposób losowy. Uszkodzenia wtórne natomiast są zależne od siebie, ponieważ ich występowanie jest uwarunkowane wcześniejszym wystąpieniem uszkodzenia pierwotnego i skutkiem niewłaściwej jego naprawy lub niewłaściwej naprawy kolejnego uszkodzenia wtórnego. W związku z tym, istotnym problemem jest zapewnienie wysokiej skuteczności realizowanych napraw środków transportu, które wpływają na poziom niezawodności, bezpieczeństwa oraz efektywności realizowanych przewozów. transportowych. W niniejszym opracowaniu przedstawiono badania eksploatacyjne oraz symulacyjne wpływu eliminowania uszkodzeń wtórnych eksploatowanych środków transportowych, na efektywność i niezawodność działania badanego systemu transportowego.*

### **INVESTIGATION AND ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF REPAIRS ON TRANSPORT SYSTEM OPERATION RELIABILITY AND EFFICIENCY**

*Transport systems, especially transport means used in them, pose many different hazards, including risk of losing health life and degradation of the natural environment. Factors connected with the technical object operation affect its elements and cause undesirable changes of values of these elements significant features, leading to their failure. These factors include those which are connected*

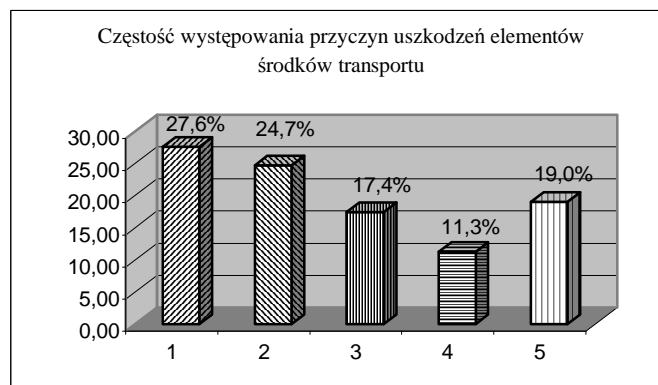
*with inappropriate actions of people and those coming from the environment. Failures are events which have a negative impact on the vehicle operation reliability. A failure has been defined here as exceeding allowed limits by significant features attributed to the technical object. On the basis of experimental tests concerning moments of the failure occurrence it was found that the set of failures can be divided into primary and secondary ones. Basing on the tests results, it can be said that in most cases, the cause of secondary failures is connected with inappropriately performed repairs of primary ones. Primary failures are usually of random character and they are not related with each other. Secondary failures are related to each other as their occurrence is conditioned by earlier appearance of primary failures and they result from incorrectly performed repairs or an inappropriate repair of a successive secondary failure. Therefore, providing transport means with correctly performed repairs is essential for reliability and efficiency of transport tasks accomplishment. The authors of this paper present experimental and simulation tests concerning the influence of elimination of secondary failures on the investigated transport system operation reliability and efficiency.*

## 1. WSTĘP

W pracy podjęto próbę oceny wpływu uszkodzeń powstających w procesie użytkowania środków transportu na niezawodne i efektywne funkcjonowanie systemów transportowych. Uszkodzenie obiektu technicznego zdefiniowano jako przekroczenie dopuszczalnych wartości granicznych przez istotne cechy opisujące jego elementy. Na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz wyników badań własnych stwierdzono, że uszkodzenia środków transportu, użytkowanych w systemach transportowych, są wynikiem oddziaływania różnorodnych czynników wymuszających (roboczych, zewnętrznych, antropotechnicznych).

Pewna liczba uszkodzeń wynika z naturalnego zużywania się elementów maszyn, natomiast inne uszkodzenia mogą być spowodowane nieskuteczną naprawą poprzednio powstałego uszkodzenia. Skutkiem tego powstają tzw. uszkodzenia wtórne, w krótkim przedziale czasu. Są one wynikiem niewłaściwej organizacji napraw, słabego wyszkolenia pracowników brygad naprawczych, ograniczeń związanych z diagnozowaniem przednaprawczym i ponaprawczym itd.

Jak widać na rysunku 1 błędy naprawy stanowią jedną z najważniejszych przyczyn powstawania uszkodzeń podsystemów pojazdów. Zestawienie istotnych przyczyn powstawania uszkodzeń środków transportu przedstawiono na rysunku 1.



Rys 1. Częstości występowania przyczyn uszkodzeń elementów środków transportu

1. błędy naprawy,
2. błędy użytkowania,
3. oddziaływanie otoczenia,
4. uszkodzenia współpracujących elementów,
5. inne.

## 2. OBIEKT I PRZEDMIOT BADAŃ

Obiektem badań są podsystemy pojazdów eksploatowanych w systemie transportu miejskiego. Natomiast przedmiotem badań są uszkodzenia wybranych podsystemów środków transportu oraz chwile ich wystąpienia.

## 3. USZKODZENIE A NAPRAWA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

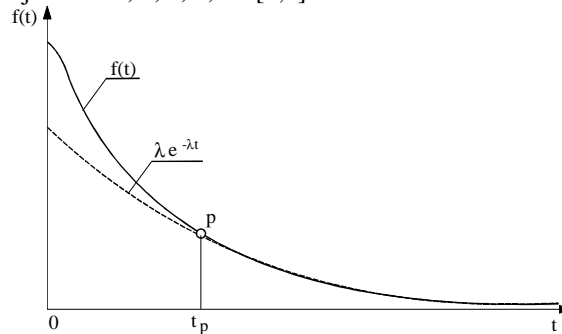
W ramach realizacji badań eksploatacyjnych w rzeczywistym systemie eksploatacji środków transportu, dokonano analizy przedziałów czasowych występujących pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami elementów środków transportu oraz chwilami ich wystąpienia. Podczas analizy statystycznej chwili wystąpienia uszkodzeń środków transportu, stwierdzono różnicę między rozkładem teoretycznym a empirycznym wartości przedziałów czasowych występujących między tymi chwilami (rys.1). Znacząca różnica między rozkładem teoretycznym a empirycznym występująca na początku przedziału  $(0, t_p)$ , od chwili  $p$  zmniejsza się do zera. Natomiast w przedziale  $(t_p, \infty)$  funkcja teoretyczna jest zgodna z rozkładem empirycznym. Rozbieżność ta wynika z występowania w przedziale  $(0, t_p)$  tzw. uszkodzeń wtórnych będących skutkiem niewłaściwej jakości napraw uszkodzonych elementów. Z badań wynika, że chwile uszkodzeń wtórnych zawierają się w przedziale od 0 do 7 dni (rys. 1).

Analiza danych empirycznych (długości przedziałów czasowych między uszkodzeniami) wskazuje na celowość opisu rozkładu prawdopodobieństwa czasów poprawnej pracy funkcją niezawodności  $R(x)$  o następującej postaci:

$$R(x) = pe^{-\lambda x} + (1-p)R_w(t) \quad (1)$$

Jest to mieszanina rozkładu wykładniczego  $pe^{-\lambda x}$  (z nieznaną wartością parametrów  $(p\lambda)$  z funkcją niezawodności  $R_w(t)$ ). Estymacja parametrów rozkładu  $(p\lambda)$  z funkcją niezawodności opisana zależnością (1) jest problemem złożonym [6].

Zakładając, że dla nieznanego rozkładu (czasów poprawnej pracy) skupionym na ograniczonym przedziale czasowym  $(0, t_p)$  można oszacować wartości parametrów  $p$  i  $\lambda$ , to dla dużych wartości  $t$  można przyjąć, że:  $R(t) \approx p \cdot \exp(-\lambda t)$ . Wówczas za pomocą metod regresji liniowej (w układzie półlogarytmicznym) można ocenić wartości parametrów  $p$  i  $\lambda$  dla różnych prób losowych uciętych z dołu. Dla każdej takiej aproksymacji oblicza się błąd standardowy regresji –  $S(i)$ , gdzie  $i$  oznacza indeks dnia od którego analizuje się dane. Analiza przebiegu  $S(i)$  w zależności od wartości  $i$  wskazuje na istnienie minimum  $s(i)$  dla różnych  $i$ , najczęściej dla  $i = 5, 6, 7, \dots, 12$  [2,5].



Rys. 2. Zmiany wartości funkcji wykładniczej i rzeczywistej w czasie  $t$

Przebieg funkcji rzeczywistej można opisać mieszaniną rozkładu prawdopodobieństwa z gęstością  $g(t)$  z rozkładem wykładniczym.

Niech  $\tau_i(k)$ , gdzie  $i = 0, 1, 2, \dots$ ,  $\tau_0(k) = 0$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, n$  oznacza strumień (chwile) uszkodzeń  $k$ -tego obiektu technicznego.

Różnica  $\tau_{i+1}(k) - \tau_i(k)$  dla  $i = 0, 1, 2, \dots$ , oznacza długość przedziału czasu między  $i+1$ -szym i  $i$ -tym uszkodzeniem  $k$ -tego obiektu technicznego.

Przez  $Y_i(n)$  oznacza się superpozycję  $n$  - strumieni uszkodzeń.

Niech  $X_i(n) = Y_i(n) - Y_{i-1}(n)$ , gdzie  $i = 0, 1, 2, \dots$ ,  $Y_0 = 0$

Zakłada się, że rozkład zmiennej losowej  $X_i(n)$  nie zależy od  $i$ .

Na podstawie twierdzenia Grigelionisa wiadomo, że przy  $n \rightarrow \infty$  zmienna losowa  $X(n)$  ma rozkład wykładniczy.

Zakłada się, że gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $T$  ma następującą postać:

$$f(t) = \alpha \cdot g(t) + (1-\alpha)e^{-\lambda t} \quad \text{dla } f(t) \geq 0 \quad (2)$$

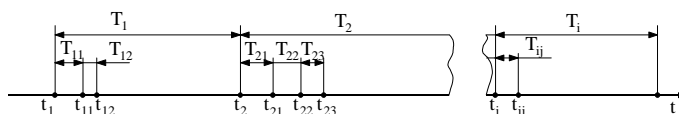
Jest to mieszanina rozkładu prawdopodobieństwa z gęstością  $g(t)$  z rozkładem wykładniczym z gęstością podaną zależnością (3):

$$g_1(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Estymacja parametru  $\alpha$  i  $\lambda$  gęstości (2) opiera się na założeniu, że gęstość  $g(t)$  przyjmuje wartości większe od zera i stosunkowo małe w przedziale od  $\langle t_p, \infty \rangle$ . Z analizy wyników badań eksploatacyjnych dotyczących chwil wystąpienia uszkodzeń wynika, że zbiór uszkodzeń można podzielić na podzbiory uszkodzeń **pierwotnych** oraz **wtórnych**.

Wynika to stąd, że kolejne chwile uszkodzeń tych samych podsystemów skupiają się sekwencyjnie po zajściu pojedynczego uszkodzenia.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy strumień uszkodzeń wybranego podsystemu środka transportu.



Rys. 3. Przedziały czasu pomiędzy uszkodzeniami pierwotnymi i wtórnymi

$t_i$  – chwile wystąpienia uszkodzeń pierwotnych,

$t_{ij}$  – chwile wystąpienia uszkodzeń wtórnych,

$T_i$  – przedziały czasu między chwilami wystąpienia uszkodzeń pierwotnych,

$T_{ij}$  – przedziały czasu między chwilami wystąpienia uszkodzeń wtórnych.

Jak widać na rysunku 3, pierwsze z uszkodzeń, które wystąpiły w chwilach  $t_i$ , wywołują sekwencje powstawania kolejnych uszkodzeń tego samego podsystemu w krótkich przedziałach czasu. Uszkodzenia te nazwano **pierwotnymi**. Natomiast kolejne z nich, o skończonej liczbie powtórzeń, występujące w chwilach  $t_{ij}$ , nazwano uszkodzeniami **wtórnymi**. Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że przyczyną powstawania uszkodzeń wtórnych jest, z reguły, niewłaściwa jakość napraw pierwotnych uszkodzeń elementów podsystemów.

Uszkodzenia pierwotne są niezależne od siebie i występują w sposób losowy (nie są ze sobą związane więzią przyczynowo-skutkową). Uszkodzenia wtórne są zależne, ponieważ ich wystąpienie jest uwarunkowane wcześniejszym wystąpieniem uszkodzenia pierwotnego i skutkiem niewłaściwej jego naprawy lub niewłaściwej naprawy następnego uszkodzenia wtórnego.

Zmniejszenie warunkowego prawdopodobieństwa zajścia uszkodzenia wtórnego może stanowić punkt wyjścia do zmniejszenia intensywności uszkodzeń. Można to osiągnąć poprzez eliminowanie uszkodzeń powstających z powodu nieracjonalnej realizacji procesu naprawczego.

#### 4. PROCES MODELOWANIA CHWIL POWSTAWANIA USZKODZEŃ

W wyniku analizy chwil wystąpienia uszkodzeń środków transportu oraz wartości przedziałów czasowych, zawartych między nimi, dokonano estymacji wartości parametrów rzeczywistego procesu. Na tej podstawie zbudowano model symulacyjny odwzorowujący rzeczywisty strumień uszkodzeń, którego badanie umożliwia ocenę skuteczności napraw realizowanych w procesie obsługowym.

Na rysunku 4 przedstawiono okno dialogowe programu symulacyjnego, za pomocą którego wprowadza się do modelu symulacyjnego wartości parametrów rzeczywistego procesu.

The dialog box 'Symulacja' is divided into three main sections for parameter configuration:

- USZKODZENIA PIERWOTNE (CZASY) - Gamma uogólniony:** Includes instructions on parameter selection. Input fields for  $b$  (5),  $p$  (1), and  $v$  (1,25). A 'średnia' field shows the value 3,5675723963t.
- USZKODZENIA WTORNE (ILOŚĆ) - rozkład Poissona:** Includes instructions on parameter selection. Input fields for  $\lambda$  (2) and 'średnia' (2).
- USZKODZENIA WTORNE (CZASY) - rozkład Erlanga:** Includes instructions on parameter selection. Input fields for 'rzęd' (3),  $\lambda$  (1,5), and 'średnia' (2).

At the bottom, the 'Liczba zdarzeń do wygenerowania' is set to 500. There are 'START' and 'Zakończ' buttons.

Rys. 4. Okno dialogowe programu symulacyjnego

Na podstawie analizy literatury przedmiotowej oraz wyników badań własnych do generowania przez program symulacyjny strumieni uszkodzeń środków transportu przyjęto uogólniony rozkład Gamma [3]. Za pomocą przyjętych wartości parametrów ( $b$  – parametr skali,  $p$  – parametr kształtu,  $v$  - parametr kształtu) tego rozkładu symulowano za pomocą programu przedziały czasowe pomiędzy chwilami wystąpienia uszkodzeń pierwotnych. W przypadku przyjęcia wartości parametru  $v=1$  przedziały czasowe generowane były zgodnie z rozkładem Gamma. Natomiast dla parametrów o wartościach  $p=1$  i  $v=1$  przedziały czasowe generowane były zgodnie z rozkładem wykładniczym.

Zmienna losowa  $X$  ma rozkład gamma, jeśli jej gęstość wyraża się wzorem (4):

$$f(x) = \frac{1}{bp\Gamma(p)} \cdot x^{p-1} e^{-\frac{x}{b}} \quad x > 0, \quad p, b > 0, \quad (4)$$

gdzie:  $\Gamma(p)$  jest funkcją gamma wyrażającą się wzorem (5):

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x} dx \quad (5)$$

Jeśli  $p = 1$ , to jako szczególny przypadek mamy rozkład wykładniczy. W przypadku, gdy parametr  $p$  jest całkowity, to rozkład gamma jest rozkładem Erlanga. Parametr  $p$  jest parametrem formy (kształtu), natomiast parametr  $b$  jest parametrem skali.

Wartość średnia  $EX$  wyraża się zależnością (6):

$$EX = pb \quad (6)$$

wariancja wzorem (7):

$$D^2X = pb^2 \quad (7)$$

Równania (6 i 7) mogą być podstawą do budowy estymatorów  $\hat{p}$  i  $\hat{b}$  parametrów  $p$  i  $b$ . Z tych równań wynika, że:

$$\hat{b} = \frac{s^2}{\bar{x}}, \quad \hat{p} = \frac{\bar{x}}{\hat{b}} = \frac{\left(\frac{\bar{x}}{s^2}\right)^2}{\bar{x}} \quad (8)$$

Jeśli określimy nową zmienną:

$$T = x^{\frac{1}{v}}, \quad v > 0 \quad (9)$$

to zmienna losowa  $T$  ma uogólniony rozkład gamma z gęstością prawdopodobieństwa wyrażającą się zależnością (10):

$$f(t) = \frac{v}{b^p \Gamma(p)} \cdot t^{pv-1} e^{-\frac{t^v}{b}} \quad (10)$$

Gęstość uogólnionego rozkładu gamma jest też podawana w pracy [3] w następującej postaci:

$$f(t) = \frac{v}{-b\Gamma(p)} \left(\frac{t}{b}\right)^{pv-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{b}\right)^v\right\}, \quad t > 0. \quad (11)$$

Wartość średnia tego rozkładu wyraża się wzorem (12):

$$ET = b \frac{\Gamma\left(p + \frac{1}{v}\right)}{\Gamma(p)}, \quad (12)$$

natomiast wariancja wzorem (13):

$$D^2T = b^2 \left( \frac{\Gamma\left(p + \frac{2}{v}\right)}{\Gamma(p)} - \frac{\Gamma^2\left(p + \frac{1}{v}\right)}{\Gamma^2(p)} \right) \quad (13)$$

Estymację parametru tego rozkładu podano w pracy [3].

Liczby losowe z uogólnionego rozkładu Gamma (trzy parametry:  $b$ ,  $p$ ,  $v$ ) otrzymywane są jako liczby losowe z rozkładu gamma o parametrach  $b$  i  $p$ , które podniesiono do potęgi  $\frac{1}{v}$ .

Przy czym liczby losowe z rozkładu Gamma ( $b, p$ ) uzyskano za pomocą wbudowanej funkcji programu EXCEL 2000 ROZKŁAD.GAMMA.ODW (jest to realizacja generatora liczb losowych z rozkładu Gamma ( $b, p$ ) poprzez odwracanie dystrybuanty tego rozkładu).

$$r(b, p, v) = (Gamma(b, p))_{\left(\frac{1}{v}\right)} \quad (14)$$

Liczbę uszkodzeń wtórnych występujących w sekwencji zdarzeń za uszkodzeniem pierwotnym (rysunek 3) generowano zgodnie z rozkładem Poissona o określonej wartości parametru  $\lambda$  (wartość oczekiwana).

Liczby losowe z rozkładu **Poissona** otrzymywane są przy pomocy następującego algorytmu:

- dla ustalonego  $\lambda$  oblicza się  $q = e^{-\lambda}$
- ustala się  $x=0, S=q$  oraz  $p=q$
- generuje się liczbę losową  $r$  z rozkładu równomiernego na odcinku  $[0, 1)$
- Tak długo dopóki  $r > S$  oblicza się kolejno:
 
$$x=x+1$$

$$p=p*\lambda/x$$

$$S=S+p$$

Gdy  $S$  stanie się większe lub równe od  $r$  przyjmuje się wartość  $x$  jako liczbę z rozkładu Poissona o parametrze  $\lambda$ .

Przedziały czasu pomiędzy uszkodzeniami wtórnymi zostały wygenerowane z rozkładu Erlanga o określonych wartościach parametrów tego rozkładu takich jak: liczba uszkodzeń wtórnych występujących w sekwencji za uszkodzeniem pierwotnym oraz wartość parametru  $\lambda$ .

Liczby losowe z rozkładu Erlanga o parametrach  $n$  i  $\lambda$  otrzymywane są na podstawie formuły (15):

$$r(n, \lambda) = \sum_{k=1}^n \left( -\frac{1}{\lambda} \ln(rnd) \right) \quad (15)$$

gdzie:

$rnd$  - jest liczbą losową z rozkładu równomiernego (jednostajnego) na odcinku  $[0, 1)$

Liczbę zdarzeń, w generowanym za pomocą programu symulacyjnego strumieniu uszkodzeń, ustalano na podstawie analizy statystycznej rzeczywistych strumieni uszkodzeń podsystemów środków transportu.

W celu dokonania oceny efektywności i niezawodności działania wyznaczono wartości, wybranych na podstawie analizy literatury przedmiotu, wskaźników niezawodnościowych i efektywnościowych.

Średni przebieg między dwoma kolejnymi uszkodzeniami wyrażony zależnością (16):

$$L_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_{ki} \quad (16)$$

gdzie:

$n$  – liczba przebiegów między uszkodzeniami obiektów technicznych,



$l_{ki}$  –  $i$ -ty przebieg między uszkodzeniami obiektu technicznego.

Średni czas poprawnej pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami opisany zależnością (17):

$$\Theta_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ki} \quad (17)$$

gdzie:

$n$  – liczba badanych obiektów, z których każdy jest po  $k-1$  naprawie,

$t_i$  – czas przebywania  $i$ -tego obiektu w stanie zdatności do chwili zakończenia  $k-1$  naprawy do wystąpienia  $k$ -tego uszkodzenia

## 5. WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH

Analizie poddano uszkodzenia wybranych podsystemów autobusów, które przyjęto za najistotniejsze z punktu widzenia oceny skuteczności napraw i jej wpływu na niezawodność, bezpieczeństwo i efektywność działania badanego systemu. Badania eksploatacyjne zostały przeprowadzone metodą eksperymentu biernego w rzeczywistych warunkach eksploatacji środków transportu. Badania dotyczyły pięcioletniego okresu eksploatacji autobusów. W badaniach tych uwzględniano również identyfikację czynników mających wpływ na powstawanie uszkodzeń wtórnych.

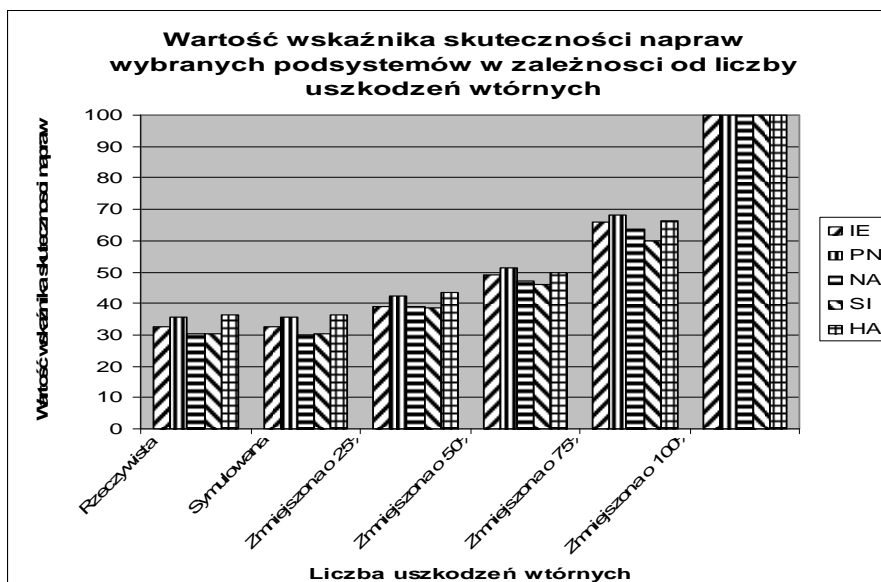
Na podstawie przyjętych kryteriów dokonano klasyfikacji uszkodzeń i wyznaczono wartości podstawowych parametrów statystycznych, takie jak: liczby uszkodzeń pierwotnych ( $L_{up}$ ), liczby uszkodzeń wtórnych ( $L_{uw}$ ), oraz średnie wartości przedziałów czasowych pomiędzy uszkodzeniami pierwotnymi i wtórnymi.

Na podstawie znanych wartości wybranych statystyk rozkładu rzeczywistych czasów poprawnej pracy wygenerowano strumienie uszkodzeń o zbliżonych wartościach parametrów statystyk w stosunku do wartości statystyk wyznaczonych na podstawie danych empirycznych [6].

Tabela 1. Wartości wskaźnika skuteczności napraw wybranych podsystemów, wyrażonych w % dla różnych liczb uszkodzeń wtórnych  $L_{uw}$

	Kod podsystemu				
	IE	PN	NA	SI	HA
Rzeczywista wartość wskaźnika skuteczności napraw	32,6	35,7	30,2	30,3	36,3
Wartość wskaźnika skuteczności napraw dla danych symulowanych zgodnych z danymi rzeczywistymi	32,4	35,6	30,1	30,4	36,3
Wartość wskaźnika skuteczności napraw dla liczby uszkodzeń wtórnych zmniejszonych o 25%	39,0	42,1	39,0	38,6	43,5
Wartość wskaźnika skuteczności napraw dla liczby uszkodzeń wtórnych zmniejszonych o 50%	48,9	51,3	47,2	45,8	49,8
Wartość wskaźnika skuteczności napraw dla liczby uszkodzeń wtórnych zmniejszonych o 75%	65,9	68,2	63,7	59,8	66,4
Wartość wskaźnika skuteczności napraw dla liczby uszkodzeń wtórnych zmniejszonych o 100%	100	100	100	100	100

Na rysunku 5, przedstawiono wartości wskaźnika skuteczności realizowanych napraw, w zależności od wartości procentowego zmniejszenia liczby uszkodzeń wtórnych, będących następstwem poprawy jakości realizowanych napraw wybranych podsystemów autobusu



Rys. 5. Zmiana wartości wskaźnika skuteczności napraw w zależności od procentowego zmniejszenia liczby uszkodzeń wtórnych wybranych podsystemów autobusu

Jak widać na rysunku 5 wyeliminowanie uszkodzeń wtórnych w 100% powoduje wzrost wartości wskaźnika skuteczności realizowanych napraw do jedności. Natomiast eliminowanie liczby uszkodzeń wtórnych o 25%, 50% i 75% powoduje zwiększanie wartości wskaźnika skuteczności, co oczywiście bezpośrednio przekłada się na wzrost niezawodności i efektywności działania badanego systemu.

## 6. PODSUMOWANIE

Na podstawie zrealizowanych badań można wnioskować, że uszkodzenia wtórne poszczególnych elementów lub podsystemów, będące następstwem nieskutecznie zrealizowanych napraw, należy eliminować w procesie obsługowym zwiększając tym samym niezawodność, bezpieczeństwo i efektywność działania rozpatrywanych systemów transportowych a w szczególność jakości ich działania.

## 7. BIBLIGRAFIA

- [1] BENDAT S. J., PIERSOL A. G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. Państwowe Wydawnictwa Naukowe Warszawa, 1976.
- [2] BOBROWSKI D.: Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach, WNT, Warszawa, 1985.
- [3] FIRKOWICZ Sz.: Statystyczne badanie wyrobów. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 1970.
- [4] FISZ M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN, Warszawa, 1969.
- [5] MIGDALSKI J.: Inżynieria niezawodności, Poradnik, Wydawnictwo ZETOM, Warszawa, 1992.
- [6] MUŚLEWSKI Ł., WDZIĘCZNY A.: *Qualitative Aspect of Means of Transport Failure Causes*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18, No. 2A, Hard Olsztyn, 2009.
- [7] PAPOULIS A.: Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne. WNT, Warszawa, 1972.
- [8] Pod red. GOŁĄBEK A.: Niezawodność autobusów, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1993.
- [9] Pod red. NOSAL S.: Metody stabilizacji niezawodności maszyn w fazie eksploatacji, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Poznań, 2002.
- [10] Pod red. WOROPIAY M.: Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Bydgoszcz-Radom, 1996.
- [11] WOROPIAY M., MUŚLEWSKI Ł.: Jakość w ujęciu systemowym. ITeE, Radom, 2005.