

## MEANS OF TRANSPORT REPAIRS EFFICIENCY ANALYSIS AND ASSESSMENT METHOD

Maciej Woropay, Andrzej Wdzięczny, Piotr Kolber

University of Technology and Life Sciences  
Department Of Machine Maintenance  
Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland  
e-mail: andy@utp.edu.pl

### Abstract

*The operation and maintenance factors as well as the destructive processes of the technical object elements cause unfavourable changes of the values of the significant functional features causing failures. A damage to a technical object has been defined as exceeding admissible limiting values by significant values of the features describing its elements. Based on the analysed references in question as well as on the results of our own research it has been found that the damages to the means of transport, being utilised within the transport systems, are a result of interaction of various forcing factors. Some number of the damages results from natural wear of the means of transport elements, which is a natural phenomenon, while the remaining damages may be caused by an inefficient repair of the previous damage. This leads to so called secondary damages to the repaired element, occurred within a short time interval, which is a proof of inappropriate organization of the repairs, poor training level of the repairing teams, limits related to pre and after repair diagnosis, etc. Based on the analysis of the investigation results it has been found that the reason for the secondary damages is, in general, improper quality of the repairs of the primary damages to the subsystem elements. The primary damages are independent on one another and they occur randomly (they are not connected with one another by the cause and effect links). The secondary damages are dependent, because their occurrence depends on prior occurrence of the primary damage and the effect of its improper repair or improper repair of the next secondary damage.*

**Keywords:** transport system, reliability, efficiency, maintenance, failures

## METODA ANALIZY I OCENY SKUTECZNOŚCI NAPRAW ŚRODKÓW TRANSPORTU

### Streszczenie

*Czynniki eksploatacyjne i procesy destrukcyjne elementów obiektów technicznych powodują niekorzystne zmiany wartości istotnych cech funkcjonalnych, powodujących uszkodzenia. 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. 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. 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.*

**Słowa kluczowe:** system transportowy, niezawodność, skuteczność, naprawa, uszkodzenie

## 1. Wprowadzenie

Na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz wyników badań własnych stwierdzono, że uszkodzenia środków transportu, użytkowanych w systemach transportowych, są wynikiem oddziaływania różnorodnych czynników wymuszających.

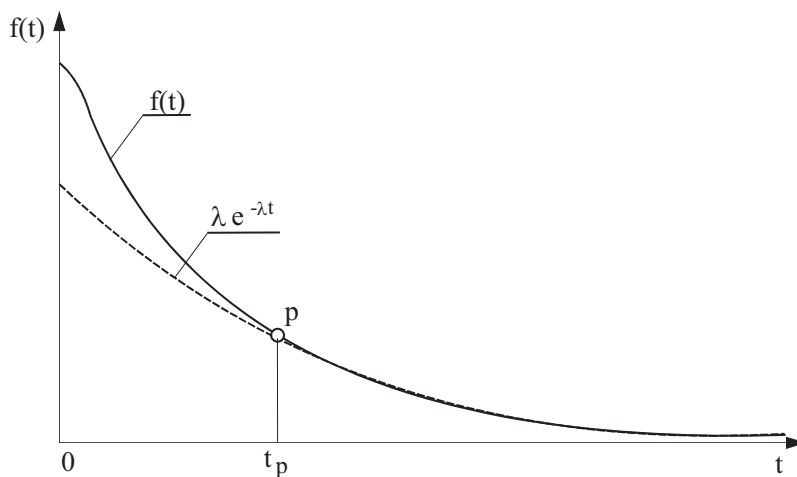
Czynniki te można podzielić na:

- czynniki robocze - oddziałujące na maszynę w wyniku realizacji procesu roboczego przez maszynę (uwarunkowane funkcjonowaniem maszyny),
- czynniki zewnętrzne - charakteryzujące oddziaływanie otoczenia na maszynę (nieuwarunkowane funkcjonowaniem maszyny),
- czynniki antropotechniczne - oddziałujące na maszynę w wyniku świadomej lub nieświadomej działalności człowieka ( np. błędy człowieka w procesie użytkowania i obsługi).

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.

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 chwil 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).



Rys. 1. Zmiany wartości funkcji wykładniczej i rzeczywistej w czasie  $t$

Fig. 1. Changes of the value of the exponential function and the real function at the time  $t$

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.

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  $i = 5, 6, 7, \dots, 12$ .

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 (3.3):

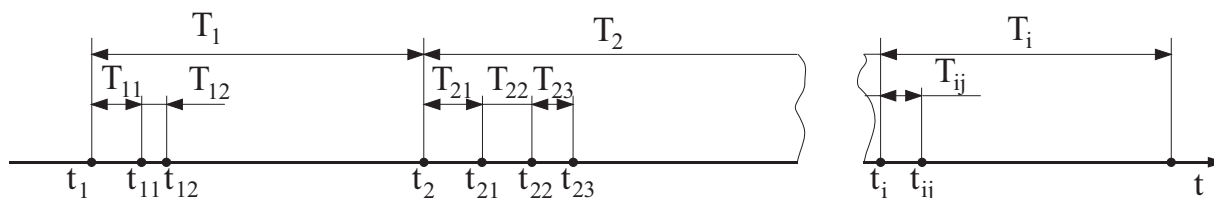
$$g_1(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

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 2 przedstawiono przykładowy strumień uszkodzeń wybranego podsystemu środka transportu.



Rys. 2. Przedziały czasu pomiędzy uszkodzeniami pierwotnymi i wtórnymi

Fig. 2. Time intervals between the primary and secondary damages

$t_i$  – 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 2, 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.

W pracy wyróżniono trzy rodzaje uszkodzeń obiektów technicznych:

- uszkodzenia powstające na skutek zużywania się ich elementów (parametryczne),
- uszkodzenia elementów powstające w wyniku błędnego działania operatora,
- uszkodzenia „powtarzalne” tzn. uszkodzenia elementów obiektu występujące w krótkim przedziale czasu, powstałe w wyniku niewłaściwie zrealizowanej naprawy.

Uszkodzenia te dotyczą elementów tego samego układu. Ustalenie przyczyn występowania napraw nieskutecznych a następnie ich eliminowanie umożliwi zmniejszenie nakładów finansowych ponoszonych przez przedsiębiorstwo transportowe na eksploatację środków transportu.

Naprawę uważa się za skuteczną wówczas, gdy zapewnia ona osiągnięcie stanu zdatności zadaniowej umożliwiającego zrealizowanie zadania przez obiekt techniczny w określonym przedziale czasu i przy ustalonym poziomie oddziaływań czynników wymuszających.

## 2. Cel

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metody oceny skuteczności realizowanych napraw wybranych podsystemów środków transportu.

## 3. Obiekt i metodyka badań

Obiektem badań są uszkodzenia podsystemów środków transportu, eksploatowanych w wybranym systemie transportowym oraz chwile ich wystąpienia.

Badania przeprowadzono w systemie miejskiej komunikacji autobusowej dotyczyły one uszkodzeń podsystemów środków transportu oraz chwil ich wystąpienia. Zostały one przeprowadzone metodą eksperymentu biernego w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Do badań wybrano losowo zbiór składający się z 21 środków transportu użytkowanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Wyniki badań dotyczą pięcioletniego czasu eksploatacji środków transportu.

## 4. Metoda klasyfikacji uszkodzeń oraz oceny skuteczności napraw podsystemów środków transportu

Opracowaną metodę klasyfikowania uszkodzeń środków transportu zastosowano w autobusowym systemie transportu miejskiego. W tym celu analizowany obiekt badań został zdekomponowany na podsystemy. Na etapie dekompozycji przyjęto następujące symbole oznaczeń podsystemów środków transportu przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie analizy rzeczywistych strumieni uszkodzeń, do zastosowania opracowanej metody wybrano podsystemy istotne. Podsystemy istotne zostały opisane w tabeli 1 drukiem

pogrubionym.

Tab. 1. Zbiór podsystemów zdekomponowanego środka transportu  
Tab. 1. A set of the subsystems of the decomposed mean of transport

SI	- Silnik
PN	- Przeniesienie napędu
UJ	- Układ jezdny
IE	- Instalacja elektryczna
HA	- Układ hamulcowy
NA	- Nadwozie
UK	- Układ kierowniczy
SP	- Układ zasilania sprężonym powietrzem
ZA	- Układ zawieszenia
IN	- Pozostałe

W celu dokonania klasyfikacji uszkodzeń na uszkodzenia pierwotne i wtórne zastosowano:

- a) kryterium średniego przebiegu kilometrowego pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami podsystemu wg zależności (7) i (8), w którym:

$L_u$  – oznacza sumaryczną liczbę uszkodzeń badanego autobusu,

$L_{u1}$  – oznacza liczbę uszkodzeń instalacji elektrycznej IE,

$L_{u2}$  – oznacza liczbę uszkodzeń nadwozia NA,

$L_{u3}$  – oznacza liczbę uszkodzeń układu przeniesienia napędu PN,

$L_{u4}$  – oznacza liczbę uszkodzeń silnika SI,

$L_{u5}$  – oznacza liczbę uszkodzeń układu hamulcowego HA,

$P_c$  – oznacza całkowity przebieg autobusu w czasie badań [km],

$L_{\dot{s}rj}$  – oznacza średni przebieg między dwoma kolejnymi uszkodzeniami badanego  $j$ -tego podsystemu [km], opisany zależnością (4):

$$L_{\dot{s}rj} = \frac{P_c}{L_{uj}} \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (4)$$

$s_j'$  – odchylenie standardowe [km], opisane zależnością (5):

$$s_j' = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{ij} - L_{\dot{s}rj})^2}{n-1}} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (5)$$

gdzie:

$L_{ij}$  – przebieg między kolejnymi naprawami [km]  $j$ -tego podsystemu,

$n$  – liczba pomiarów tj. liczba przebiegów między kolejnymi naprawami  $j$ -tego podsystemu,

$s_j$  – odchylenie standardowe z uwzględnieniem wskaźnika t-Studenta zależne od liczby pomiarów  $n$  i współczynnika ufności  $1-\alpha$ , opisano zależnością (6):

$$s_j = f_{1-\alpha} s_j', \quad j = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (6)$$

W pracy przyjęto współczynnik ufności  $1-\alpha = 0,95$ . Jest to najczęściej stosowana w badaniach statystycznych wartość tego współczynnika. Następnie dokonano klasyfikacji uszkodzeń według zależności (7) i (8).

- poprzednie uszkodzenie  $j$ -tego podsystemu było pierwotne  $L_{upj}$  przy spełnieniu zależności (7):

$$L_{upj} = L_{ij} \geq L_{\dot{s}rj} - s_j, \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (7)$$

- poprzednie uszkodzenie  $j$ -tego podsystemu było wtórne  $L_{uwj}$  przy spełnieniu zależności (8):

$$L_{uwj} = L_{ij} < L_{s_{rj}} - s_j, j=1,2,3,4,5, \quad (8)$$

gdzie:

$L_{s_{rj}} - s_j$  – wartość określająca próg między uszkodzeniami pierwotnymi i wtórnymi [km].

- b) kryterium czasu krytycznego  $t_{kr}$  wyznaczonego na podstawie średniego czasu poprawnej pracy między kolejnymi uszkodzeniami podsystemu:

Założono na podstawie analizy wyników badań eksploatacyjnych, że przedziały czasowe poprawnej pracy między kolejnymi uszkodzeniami podsystemu autobusu można wyrazić za pomocą rozkładu wykładniczego. Natomiast warunek czasu krytycznego  $t_{kr}$  wyznaczono na podstawie poniżej opisanych zależności [1]:

$$F(t_{kr}) = 1 - e^{-at_{kr}}, \quad (9)$$

$$F(t_{kr}) = 1 - \alpha, \quad (10)$$

$$f(t_{kr}) = ae^{-at_{kr}}. \quad (11)$$

Po przyrównaniu równań (10) i (11) otrzymano zależność (12):

$$1 - e^{-at_{kr}} = 1 - \alpha, \quad (12)$$

stąd:

$$\alpha = e^{-at_{kr}}. \quad (13)$$

Logarytmując obie strony równania otrzymano zależność (14):

$$-\ln \alpha = at_{kr}. \quad (14)$$

Po przekształceniach zależności (9)÷(14) otrzymano obszar krytyczny rozkładu wykładniczego wyrażony zależnością (15).

$$t_{kr} = -\frac{1}{\hat{a}} \ln \alpha, \quad (15)$$

gdzie:

$\alpha$  – poziomu istotności,

$\hat{a} = \frac{1}{\bar{t}}$  – estymator parametru  $a$  metodą momentów,

$\bar{t}$  – średnia wartość przedziału czasu poprawnej pracy między uszkodzeniami podsystemu.

W celu wyznaczenia wartości wskaźnika skuteczności realizowanych napraw przyjęto następujące opisy i zależności.

$N(t)$  – sumaryczna liczba napraw badanego autobusu do chwili  $t$ , opisana jest zależnością (16):

$$N(t) = \sum_j N_j(t), j = 1, 2, \dots, m, \quad (16)$$

$N_j(t)$  – liczba napraw  $j$ -tego podsystemu do chwili  $t$ , opisano zależnością (17):

$$N_j(t) = N_j^S(t) + N_j^N(t), j = 1, 2, \dots, m, \quad (17)$$

gdzie:

$N_j^S(t)$  – liczba napraw skutecznych  $j$ -tego podsystemu do chwili  $t$ ,

$N_j^N(t)$  – liczba napraw nieskutecznych  $j$ -tego podsystemu do chwili  $t$ .

Wartości  $N_j^S(t)$  oraz  $N_j^N(t)$  wyznaczono na podstawie następujących zależności:

$L_{srj}(t)$  – średni przebieg międzynaaprawczy  $j$ -tego podsystemu, opisany zależnością (18):

$$L_{srj}(t) = \frac{L_{1j}(t) + L_{2j}(t) + \dots + L_{nj}(t)}{N_j(t)} = \frac{1}{N_j(t)} \sum_{i=1}^n L_{ij}(t),$$

dla  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m,$

(18)

gdzie:

$L_{ij}(t)$  – przebieg między kolejnymi naprawami  $j$ -tego podsystemu do chwili  $t$ ,

$N_j(t)$  – liczba napraw  $j$ -tego podsystemu do chwili  $t$ .

Wartość wskaźnika skuteczności wykonywanych napraw  $j$ -tego podsystemu autobusu opisano zależnością (19) [7]:

$$WS_j = \frac{N_j(t) - N_j^N(t)}{N_j(t)} = \frac{N_j^S(t)}{N_j(t)}, j = 1, 2, \dots, m.$$
(19)

Wartość tego wskaźnika można wyrazić następująco [2, 7]:

$$WS_j = \frac{N_j^S}{N_j} * 100[\%], j = 1, 2, 3, 4, 5, .$$
(20)

## 5. Wybrane wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczące liczby napraw wybranych podsystemów autobusów, charakteryzujących się największymi liczbami uszkodzeń w czasie realizacji badań eksploatacyjnych.

Tab. 2. Zestawienie liczb napraw wybranych podsystemów badanych autobusów  
Tab. 2. Comparison of the number of repairs of the selected bus subsystems under investigation

Numer boczny autobusu	Kod podsystemu	Liczba napraw	Liczba napraw skutecznych	Liczba napraw nieskutecznych	Wskaźnik skuteczności napraw w %
1	2	3	4	5	6
Ikarus IK260					
1	IE	147	48	99	32,65
	PN	126	45	81	35,71
	NA	86	26	60	30,23
	SI	66	20	46	30,30
	HA	55	20	35	36,36
2	IE	186	66	120	35,48
	PN	141	42	99	29,79
	NA	99	31	68	31,31
	SI	62	28	34	45,16
	HA	76	24	52	31,58
3	IE	108	29	79	26,85
	PN	84	26	58	30,95
	NA	78	22	56	28,21
	SI	49	19	30	38,78
	HA	115	44	71	38,26
1	2	3	4	5	6
4	IE	53	16	37	30,19
	PN	29	12	17	41,38

	NA	61	25	36	40,98
	SI	43	14	29	32,56
	HA	64	22	42	34,38
5	IE	61	23	38	37,70
	PN	81	26	55	32,10
	NA	38	12	26	31,58
	SI	45	13	32	28,89
	HA	56	17	39	30,36
6	IE	230	70	160	30,43
	PN	237	90	147	37,97
	NA	158	50	108	31,65
	SI	86	26	60	30,23
	HA	189	65	124	34,39
7	IE	99	36	63	36,36
	PN	51	20	31	39,22
	NA	64	20	44	31,25
	SI	38	13	25	34,21
	HA	42	14	28	33,33

Tab. 2. Zestawienie liczb napraw wybranych podsystemów badanych autobusów cd.  
 Tab. 2. Comparison of the number of repairs of the selected bus subsystems under investigation

Numer boczny autobusu	Kod podsystemu	Liczba napraw	Liczba napraw skutecznych	Liczba napraw nieskutecznych	Wskaźnik skuteczności napraw w %
1	2	3	4	5	6
Ikarus I280B					
8	IE	126	45	81	35,71
	PN	8	3	5	37,50
	NA	79	29	50	36,71
	SI	125	43	82	34,40
	HA	16	7	9	43,75
9	IE	205	60	145	29,27
	PN	10	2	8	20,00
	NA	111	36	75	32,43
	SI	86	30	56	34,88
	HA	40	11	29	27,50
10	IE	152	53	99	34,87
	PN	13	4	9	30,77
	NA	112	42	70	37,50
	SI	97	28	69	28,87
	HA	55	19	36	34,55
11	IE	115	39	76	33,91
	PN	3	2	1	66,67
	NA	82	26	56	31,71
	SI	49	14	35	28,57
	HA	24	9	15	37,50
1	2	3	4	5	6
12	IE	159	46	113	28,93
	PN	8	4	4	50,00
	NA	115	33	82	28,70



	SI	58	15	43	25,86
	HA	20	6	14	30,00
13	IE	216	65	151	30,09
	PN	2	1	1	50,00
	NA	138	43	95	31,16
	SI	81	22	59	27,16
	HA	27	10	17	37,04
14	IE	170	55	115	32,35
	PN	5	1	4	20,00
	NA	101	32	69	31,68
	SI	89	27	62	30,34
	HA	13	5	8	38,46

## 6. Analiza wyników badań i wnioski

Na podstawie analizy danych zawartych w tabeli 2 można stwierdzić, że średnia wartość wskaźnika skuteczności napraw wybranych podsystemów autobusów objętych badaniami jest niska i stanowi około 33,43%. Tak niska wartość wskaźnika skuteczności napraw powoduje znaczne obniżenie poziomu niezawodności działania środków transportu wynikające z niemożliwości realizacji zadań. Zmusza to decydenta systemu transportowego do stosowania tzw. autobusów zastępczych celem realizacji harmonogramu kursów, co wiąże się z dodatkowymi nakładami na realizację zadań przewozowych.

Po przeprowadzeniu badań w wydziale naprawczym stwierdzono konieczność wprowadzenia identyfikacji osoby dokonującej naprawę uszkodzonego podsystemu. Po wprowadzeniu tych zmian zaobserwowano znaczny wzrost wartości wskaźnika skuteczności napraw.

Z analizy informacji źródłowych wynika, że uszkodzenia wtórne elementów podsystemów autobusów, będące następstwem nieskutecznie zrealizowanych napraw, należy eliminować w procesie obsługowym. Można to realizować poprzez:

- wprowadzenie kontroli technicznej realizowanych napraw,
- podnoszenie kwalifikacji pracowników,
- odpowiednią motywację pracowników,
- wyposażenie stanowisk naprawczych w oprzyrządowanie technologiczno-naprawcze,
- przestrzeganie harmonogramu realizacji przeglądów i wymian,
- właściwe diagnozowanie przed i ponaprawcze,
- stosowanie odpowiednich części zamiennych,
- stosowanie odpowiednich środków naprawczych,
- właściwy montaż i demontaż.

Nowoczesny system poprawy skuteczności napraw powinien zawierać dwa główne podsystemy:

- podsystem sterowania procesem zapewnienia zdatności (napraw),
- podsystem oceny skuteczności realizowanych napraw.

Wyniki badań eksploatacyjnych świadczą o celowości realizacji działań mających na celu poprawę skuteczności realizowanych napraw i należy uznać je jako podstawowe działania, mające na celu podnoszenie poziomu niezawodności działania systemu transportowego.

Konieczne jest prowadzenie dalszych badań dotyczących oceny skuteczności realizowanych napraw, w wyniku których możliwa byłaby szczegółowa ocena wpływu poszczególnych czynników na nieprawidłową realizację procesów obsługowych, oraz ocena dodatkowych nakładów ponoszonych na eliminowanie uszkodzeń wtórnych.

## Literatura

- [1] Bendat, S. J., Piersol, A. G. *Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych*, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 1976.
- [2] Jaźwiński, J., Smalko, Z., Żurek, J., *Związki między nieuszkodzalnością i skutecznością systemów transportowych*, XXIII Zimowa Szkoła Niezawodności nt. *metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń*, Szczyrk, 2005.
- [3] Migdalski, J., *Inżynieria niezawodności*, Poradnik, Wydawnictwo ZETOM, Warszawa, 1992.
- [4] Gołębek, A., *Niezawodność autobusów*, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1993.
- [5] Nosal, S., *Metody stabilizacji niezawodności maszyn w fazie eksploatacji*, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Poznań, 2002.
- [6] Woropay, M., *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn*, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Bydgoszcz-Radom, 1996.
- [7] Sobolewski, K., *O pojęciu skuteczności i pojęciach związanych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 1998.
- [8] Woropay, M., *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom, 1996.
- [9] Zajac, K., *Zarys metod statystycznych*, Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa, 1988.